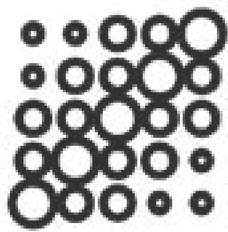


MIST

Современные инновации, системы и технологии

ISSN 2782-2826

2021

1 (1)

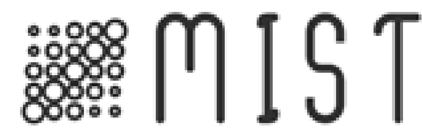


MIST

MODERN INNOVATIONS, SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

www.oajmist.com

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



Современные инновации, системы и технологии

Выходит с 2021 года

О журнале

Журнал «Современные инновации, системы и технологии» издается редакций ООО «СНЦ ДНИТ».



Редакция проводит полную редакционную обработку статей, а также размещает научные статьи в международных и российских базах цитирования и в открытых репозиториях с целью повышения доступности научных публикаций.



eLIBRARY.RU – одна из крупнейших российских электронных библиотек научных публикаций, которая обладает огромными возможностями поиска и получения информации.



CrossRef – это международный реестр научно-информационных материалов на основе технологии DOI. CrossRef использует технологию открытых стандартов системы DOI и является также официальным регистрационным агентством DOI для образовательных и профессиональных научных публикаций.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы публикаций. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Необходимую информацию о журнале и полный список опубликованных статей, а также аннотации к ним Вы найдете на нашем сайте www.oajmist.com

Издательство и редакция:
ООО "Сибирский научный центр ДНИТ" (ООО "СНЦ ДНИТ")
660049, Красноярск. ул. Урицкого, 61, офис 101
Телефон: 8 (391) 227-84-84
E-mail: krasnio@bk.ru
www.oajmist.com

Дизайн обложки Е.А. Борисова

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ №ФС77-81397 от 30.06.2021 г.

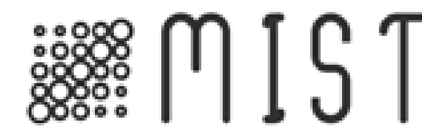
Журнал выходит четыре раза в год.

Подписано в печать 30.05.2021 г.
Заказ № 345. Тираж 1000 экз. Изд. №01

Цена свободная.

Отпечатано в типографии "Крафт" ООО "Палитра"
660050, Красноярск, ул. Кутузова, 1, стр. 37
Телефон 8 (391) 209-68-28,
E-mail: 209628@mail.ru
www.kraft-pt.ru, www.4uprint.ru

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL



Modern Innovations, Systems and Technologies

Published from 2021

About journal

The journal «Modern Innovations, Systems and Technologies» is published by the editorial offices of LLC «SSC DNIT».



The editorial office carries out full editorial processing of articles, as well as places scientific articles in international and Russian citation bases and in open repositories in order to increase the availability of scientific publications.



eLIBRARY.RU – is one of the largest Russian electronic libraries of scientific publications, which has enormous search and information retrieval capabilities.



CrossRef – is an international register of scientific and informational materials based on DOI technology. CrossRef uses the open standards technology of the DOI system and is also the official DOI registration agency for educational and professional scientific publications.

Articles submitted to the Editorial board are reviewed. The authors of the publications are responsible for the accuracy of the information in the articles. The opinion of the editorial board may not coincide with the opinion of the authors. When reprinting, a link to the journal is required. Materials are published in the author's edition.

The necessary information about the journal and a complete list of published articles, as well as abstracts to them, can be found on our website www.oajmist.com

Publisher and Editorial office:
"Siberian Scientific Center DNIT" (Ltd. "SSC DNIT")
61, Uritskogo Street, Krasnoyarsk, 660049, Russia
Tel: +7 (391) 227-84-84
E-mail: krasnio@bk.ru
www.oajmist.com

Cover design by E.A. Borisova

The journal is registered in the FEDERAL SERVICE FOR SUPERVISION OF COMMUNICATIONS, INFORMATION TECHNOLOGY, AND MASS MEDIA
ПИ №ФС77-81397 от 30.06.2021

The journal is published four times a year.

Signed for printing 30.05.2021.
Order No. 345. Circulation 1000 copies. Ed. No. 01

Printed in a typography "Kraft" LLC "Palitra"
1/37, Kutuzova Street, Krasnoyarsk, 660050, Russia
Tel: 8 (391) 209-68-28,
E-mail: 209628@mail.ru
www.kraft-pt.ru, www.4uprint.ru

Содержание

4 Обзор III Международной конференции MIST: Aerospace-III-2020: Передовые технологии в аэрокосмической отрасли, машиностроении и автоматизации

14 О способах формирования информационных структур для моделирования объектов, сред и процессов

28 Исследование эффективности применения технологий вейвлет-анализа в задачах распознавания образов

34 Применение модифицированного алгоритма муравьиной колонии для решения задачи календарного планирования распределенных предприятий

48 Анализ моделей для обработки изображений при реализации системы обнаружения объектов на железнодорожной полосе

Content

4 Overview of the International Conference “Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering – MIST: Aerospace - III - 2020”

14 On the ways of forming information structures for modeling objects, environments and processes

28 Research of the efficiency of application of technologies of wavelet analysis in the tasks of recognition of images

34 Application of the modified ant colony algorithm for solving the problem of scheduling of distributed enterprises

48 Analysis of models for image processing when implementing an object detection system on a railway track

Overview of the International Conference “Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering – MIST: Aerospace - III - 2020”

Igor V. Kovalev[1,2,3,5], Nikolay A. Testoyedov[3,4], Anna A. Voroshilova[5*]

[1] Siberian Federal University, 79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russia
[2] Krasnoyarsk State Agrarian University, 90, Mira pr., Krasnoyarsk, 660049, Russia
[3] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russia
[4] JSC “Academician M F Reshetnev Information satellite systems”, 52 Lenin Street, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia
[5] Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, 61, Uritskogo street, Krasnoyarsk, 660049, Russia

* E-mail: krasnio@bk.ru

Abstract. The article provides an overview of the main directions of the scientific program of the III International Conference MIST: Aerospace-III-2020: Advanced technologies in the aerospace industry, mechanical engineering and automation, which took place on November 20-21, 2020 in Krasnoyarsk at the site of the Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. An overview of the works that were included in the program of the plenary session of the conference in the form of online reports and video reports of the participants with posting on the website of the conference materials is presented. Information about the partner of the conference - the publishing company of the Institute of Physics (Bristol, Great Britain) - IOP Publishing is given. Materials of the conference MIST: Aerospace-III-2020 in the form of articles in English were published in the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, volume 1047.

Keywords: aerospace technology, mechanical engineering, automation engineering, industry

УДК 681.5

Обзор III Международной конференции MIST: Aerospace-III-2020: Передовые технологии в аэрокосмической отрасли, машиностроении и автоматизации

И. В. Ковалев[1,2,3,5], Н. А. Тестоедов[3,4], А. А. Ворошилова[5*]

[1] Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041, Россия
[2] Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия, пр. Мира, 90, Красноярск, 660049, Россия
[3] Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, пр. Красноярский рабочий, 31, Красноярск, 660037, Россия
[4] ОАО «Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнева», ул. Ленина, 52, Железногорск, Красноярский край, 662972, Россия
[5] Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений, ул. Урицкого, 61, Красноярск, 660049, Россия

* E-mail: krasnio@bk.ru

Аннотация. В статье представлен обзор основных направлений научной программы III Международной конференции MIST: Aerospace - III - 2020: Передовые технологии в аэрокосмической отрасли, машиностроении и автоматизации (III International Conference on Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering - MIST: Aerospace-III-2020), которая состоялась 20-21 ноября 2020 в г. Красноярске на площадке Красноярского краевого Дома науки и техники. Приведены обзорные сведения о работах, которые были включены в программу пленарной сессии конференции и представлены в виде онлайн докладов и видео докладов участников с размещением на сайте материалов конференции. Даны сведения о партнере конференции - издательской компании Института физики (Бристоль, Великобритания) – IOP Publishing. Материалы конференции MIST: Aerospace-III-2020 в виде статей на английском языке опубликованы в журнале IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, том 1047.

Ключевые слова: аэрокосмическая технология, машиностроение, автоматизация, промышленность

III Международная конференция MIST: Aerospace - III - 2020: Передовые технологии в аэрокосмической отрасли, машиностроении и автоматизации прошла в Красноярске 20-21 ноября 2020 года на базе Общественного учреждения «Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений» (ОУ «ККДНиТ») [1].

Цель данной конференции, как и предыдущих конференций данной серии [2, 3] состояла в обмене опытом ведущих специалистов в области применения передовых

наукоемких и информационных технологий в аэрокосмической отрасли, машиностроении и автоматизации технологических процессов и производств. К участию были приглашены ученые и специалисты российских и зарубежных вузов, академических институтов, предприятий, проектных и исследовательских центров. В конференции приняли участие представители более 180 российский организаций. Зарубежные участники представляли 14 стран, таких как Korea, UK, Bulgaria, Nigeria, Uzbekistan, Kazakhstan, China, Slovenia, Ukraine, Kyrgyzstan, Romania, DPR, Montenegro, Italy. Участие в конференции принимали представители таких зарубежных организаций, как:

- Federal University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria/
- University of Maribor, Kranj, Slovenia.
- Aktobe regional university named after K. Zhubanov, Aktobe.
- Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.
- Babcock University, Ilishan-Remo, Nigeria.
- CECF ELECTRIC TRADING, Shanghai, China.
- China University of Petroleum, Beijing, China.
- Information and Computational Technologies Institute, Almaty, Kazakhstan.
- Kyungpook National University, Daegu, Korea.
- Institute of Mathematics and Informatics, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria.
- K Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan.
- Karaganda Economic University of Kazpotrebsoyuz, Karaganda, Kazakhstan.
- Karaganda industrial university, Temirtau, Kazakhstan.
- Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan.
- Kazakh University of Economics, Finance and International Trade, Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Kingston University, London, UK.
- Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine.
- Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyzstan.
- L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.
- Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan.
- Satbaev University, Almaty, Kazakhstan.
- Shakarim State University of Semey, Semey, Kazakhstan.
- Donetsk National Technical University, Donetsk, DPR.

- Shenzhen MSU – BIT University, Shenzhen, China.
- Sumy State University, Sumy, Ukraine.
- Tashkent pharmaceutical Institute, Tashkent, Uzbekistan.
- Technical University of Cluj-Napoca, Cluj county, Romania.
- Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan.
- University of Padua, Padua, Italy.
- Yessenov University, Aktau, Kazakhstan.
- University of Montenegro, Montenegro.
- JSC “Volkovgeologiya”, Almaty, Kazakhstan.
- National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
- State University of Telecommunications, Kiev, Ukraine.

Основные направления научной программы конференции:

- секция 1: «Аэрокосмические технологии и промышленное производство»;
- секция 2: «Надежность и защита данных в системах автоматизации»;
- секция 3: «Кибернетика, автоматизация и информационные технологии»;
- секция 4: «Энергетика, химический и экологический инжиниринг».

Партнером конференции выступала издательская компания Института физики (Бристоль, Великобритания) – IOP Publishing. Материалы конференции MIST: Aerospace – III- 2020 в виде статей на английском языке опубликованы в журнале IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE, том 1047), индексируемом международными базами Scopus / CPCI-S (WoS).

Все доклады, представленные на конференции, соответствуют тематике научной программы, отражают новые научно-практические результаты, полученные авторами в области аэрокосмических технологий, промышленного производства, а также в области энергетики, химических технологий и экологического инжиниринга (секция 1 и 4). В рамках секции 2 представлены доклады, посвященные вопросам повышения надежности автоматизированных систем, машин и агрегатов, а также обсуждаются современные аппаратные и программные решения, обеспечивающие защиту данных в системах автоматизации различного назначения. Материалы секции 3 отражают результаты авторов, работающих в области кибернетики и программной инженерии, представлены разработки информационных систем, новые информационные технологии.

В данном обзоре представлены работы, которые были включены в программу пленарной сессии и представлены в виде онлайн докладов и видео докладов участников

(размещены на сайте материалов конференции https://conf.domnit.ru/ru/materialy/mist-aerospace-3/).

В работе авторов из Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана Н. Н. Барбашова и А. А. Барковой на тему «The prospects of using of flywheel energy accumulators in the lifting and transport industry» [4] рассматривается перспективный метод повышения экономичности подъемно-транспортных машин, основанный на использовании рекуперации энергии торможения, ее накопления и использования при дальнейшем разгоне. Авторами показано, что цикл разгон-торможение обладает высокими динамическими характеристиками при постоянных значениях силовых моментов на отдельных участках. Отмечается, что исследования доказывают, что использование рекуперации энергии при торможении позволяет не только сохранить высокие динамические характеристики машин, но и значительно улучшить экономические показатели. Следовательно, разработка основ проектирования и эффективного использования подъемно-транспортных машин с маховиковыми аккумуляторами энергии - важная и перспективная задача современного машиностроения.

В работе [5] авторов Я. А. Антипова, С.В. Смирнова, П.П. Ощепкова и H. S. Khalife на тему «A combined heat and power (CHP) plant consisting of a microturbine and a Stirling engine» из Российского университета дружбы народов (г. Москва) предлагается подход к повышению эффективности теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Применение газовых турбин и систем рекуперации тепла считается перспективным методом повышения общего КПД силовой установки. В данной статье микротурбина рассматривалась как первичный двигатель ТЭЦ, а выходные газы использовались для питания двигателя Стирлинга и, следовательно, для выработки дополнительной энергии и тепла, что позволяет повысить общий КПД электростанции. Результаты использования выхлопных газов микротурбины и двигателя Стирлинга по авторской методике расчета представлены для двух возможных конфигураций. В работе авторов из Новосибирского государственного технического университета Е. А. Попова и Ю. В. Шорникова на тему: «Analysis of unilateral event-continuous systems» [6] рассматривается численный анализ односторонних событийно-непрерывных процессов в сравнении с традиционными алгоритмами моделирования дискретно-непрерывных систем. Приведен оригинальный алгоритм управления шагом интегрирования, гарантирующий корректное обнаружение односторонних событий. Алгоритм тестируется на типовой задаче. Моделирование проводится в современных компьютерных средах для моделирования сложных динамических систем указанного класса. Представлен сравнительный анализ

применения программных сред к событийно-непрерывным процессам с односторонними событиями.

Работа авторов из Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России и Санкт-Петербургского горного университета Е. Н. Трофимец и В. Я. Трофимец «Computer modelling of physical processes described by parabolic type equations» [7] посвящена применению современных методов математического моделирования для решения задач математической физики в аэрокосмической отрасли. Для описания распределения температуры в заданной области пространства и ее изменения во времени используется уравнение теплопроводности. Это уравнение является частным случаем уравнения диффузии и является уравнением в частных производных второго порядка. Авторами рассмотрены инструменты математического пакета MathCad, которые могут быть использованы для исследования физических процессов, описываемых уравнением теплопроводности, при различных начальных и граничных условиях.

В работе «Differential mode pulse minimization by using the genetic algorithm in the bus» [8] авторов Рустама Р. Газизова, Руслана Р. Газизова, Т. Т. Газизова и М. Н. Калинина из НИУ Высшая школа экономики, ТУСУР, Томского государственного педагогического университета и МГУ имени М.В. Ломоносова рассматриваются задачи оптимизации рабочих характеристик элементов и устройств космических аппаратов. Показано, что предварительный анализ разрабатываемой конструкции является необходимым этапом в процессе разработки современных радиоэлектронных устройств, так как он позволяет быстро проверить их характеристики и исправить опасные ошибки. Кроме того, это требует меньших временных и финансовых затрат по сравнению с тестированием готовых устройств. Важно учитывать возможность различных помех, возникающих между элементами высокоточных радиоэлектронных блоков, например, космических аппаратов. Задача уменьшения максимальной амплитуды напряжения в шине питания устройства решается с помощью генетического алгоритма. Приведено сравнение результатов моделирования сигналов для двух подходов, различающихся параметрами используемого генетического алгоритма. Предложенный подход позволил существенно уменьшить максимальную амплитуду напряжения.

В работе автора из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирского Федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН), г. Краснообск и Новосибирского государственного технического университета А. Ф. Алейникова «Structural synthesis of converters of natural temperature differences» [9] исследована возможность использования методов структурного синтеза для

выяснения принципов работы преобразователя тепла, работающего в горных районах и в космосе. Автором предлагается идея преобразователя временных перепадов температур в движение. Методика основана на синтезе структуры вещества и преобразованиях энергии с подбором наиболее рациональных сочетаний физических явлений и использованием свойств материала, в которых эти явления проявляются. Также рассмотрен принцип действия и описана конструкция двигателя с тепловым преобразователем, способного работать в экстремальных условиях, например, при повышенной радиации и низких температурах космического пространства.

В работе авторов из Ташкентского фармацевтического института Х. Ш. Ихамова, Д. З. Нарзуллаева, Ш. Т. Ильясова, Б. А. Абдурахманова и К. К. Шадманова «Model of a turbulent flow of a two-phase liquid with an uneven distributed phase concentration in a horizontal pipe» [10] исследуется турбулентное стационарное движение смеси в горизонтальной цилиндрической трубе с учетом формирования неоднородного по сечению поля концентрации второй дисперсной фазы и оценивается транспортирующая способность потока. Авторами разработана модель движения двухфазной смеси в горизонтальной цилиндрической трубе с учетом неравномерного распределения концентрации второй фазы по потоку. Также в этой модели движения смеси коэффициент силы взаимодействия фаз определяется в зависимости от распределения концентрации. Задача решается численным методом. При исследовании численных результатов задачи выявлен характер формирования поля скорости при различных значениях насыщения потока твердыми частицами, что позволяет оценить размер этих частиц с учетом турбулентного течения потока. Реализация разработанных математических моделей и рекомендаций позволит прогнозировать транспортную способность двухфазного потока в напорных системах, а также поможет найти решения для пространственного гидротранспорта и систем орошения и дренажа. В работе авторов из ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» Т. Г. Кормина, В. А. Овчинникова и J-D. B. Tsumbu «Simulation modeling of manufacturing» [11] рассмотрено эффективное управление процессами проектирования производства и поставок, являющихся неотъемлемой частью современных предприятий. Одним из основных инструментов планирования производства является имитационное моделирование. Новые инструменты цифрового производства поддерживают принятие решений при проектировании производственных систем. Отмечается, что моделирование процессов – это более быстрый способ нахождения правильного решения с точки зрения генерации точных прогнозов, позволяющий оценить различные альтернативы. В статье представлено исследование, демонстрирующее результаты, полученные при использовании методик имитационного моделирования и «бережливого» производства, созданных в программе обеспечения

Tecnomatix Plant Simulation. Визуализация всех представленных в статье процессов показывает преимущества и недостатки предложенных методов оптимизации, позволяя сделать вывод о том, насколько эффективной или неэффективной будет разработанная система.

В докладе авторов из Самарского университета и Самарского государственного технического университета Д. В. Агафоновой, В. А. Михеева и Г. П. Дорошко «The pragmatism of applied temperature analysis to determine the rolling parameters under thermal exposure» [12] рассматривается основное направление развития космических материалов, которым является создание таких алюминиевых сплавов, которые обладают совершенным набором характеристик и способны обеспечивать высокие рабочие характеристики авиационно- космических агрегатов. Основное направление научных исследований - прагматизм теории температурного анализа для определения параметров прокатки алюминиевого сплава путем перевода в дискретное состояние при изотермическом нагреве. Тогда появляется возможность оценить реакцию материала образца на изменение температуры как внутреннего распределения, так и установление закономерностей материалов. Анализ кинетических кривых и результатов сканирования выполняется последовательно, неотделимо друг от друга, позволяя получить яркую картину внутренних изменений в образце при изменении внешней температуры.

Все докладчики пленарной сессии и авторы видео-докладов, представленных на конференции, отмечены дипломами оргкомитета MIST: Aerospace-III-2020. Участники, представившие Е-презентации по материалам докладов с размещением их на сайте конференции, получили сертификаты об участии в работе MIST: Aerospace-III-2020.

Список литературы

[1] Kovalev, Igor V. et al. Overview of the III International Conference on Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering – MIST:Aerospace-III-2020 / Igor V. Kovalev [et al] // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2021. – № 1047 011001.

[2] Kovalev, Igor V. Overview of the International Workshop “Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering – MIST: Aerospace” / Igor V. Kovalev // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2018. – 450 011001.

[3] Kovalev, I. V. Overview of the International Conference “Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering – MIST: Aerospace-II”/ I. V. Kovalev, A. A. Voroshilova// IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2020. – № 734 011001.

[4] Barbashov, N. N. The prospects of using of flywheel energy accumulators in the lifting and transport industry / N. N. Barbashov, A. A. Barkova // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. –

2021. – № 1047 012168. doi:10.1088/1757-899X/1047/1/012168.

[5] Antipov, Y. A. et al. A combined heat and power (CHP) plant consisting of a microturbine and a Stirling engine / Y. A. Antipov [et al] // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2021. – № 1047 012175. doi:10.1088/1757-899X/1047/1/012175.

[6] Shornikov, Yu. V. Analysis of unilateral event-continuous systems / Yu. V.Shornikov, E. A. Popov // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2021. – № 1047 012120. doi:10.1088/1757-899X/1047/1/012120.

[7] Trofimets, E. N. Computer modelling of physical processes described by parabolic type equations / E. N. Trofimets, V. Ya. Trofimets // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2021. – № 1047 012140. doi:10.1088/1757-899X/1047/1/012140.

[8] Gazizov, Rustam R. et al. Differential mode pulse minimization by using the genetic algorithm in the bus / R. R. Gazizov [et al] // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2021. – № 1047 012058. doi:10.1088/1757-899X/1047/1/012058.

[9] Aleynikov, A. F. Structural synthesis of converters of natural temperature differences / A. F. Aleynikov // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2021. – № 1047 012100. doi:10.1088/1757-899X/1047/1/012100.

[10] Ilhamov, Kh. Sh. et al. Model of a turbulent flow of a two-phase liquid with an uneven distributed phase concentration in a horizontal pipe / Kh. Sh. Ilhamov [et al.] // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2021. – № 1047 012021. doi:10.1088/1757-899X/1047/1/012021.

[11] Kormin, T. G. et al. Simulation modeling of manufacturing / T. G. Kormin [et al.] // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.. – 2021. – № 1047 012090. doi:10.1088/1757-899X/1047/1/012090.

[12] Agafonova, D. V. et al. The pragmatism of applied temperature analysis to determine the rolling parameters under thermal exposure / D. V. Agafonova [et al.] // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2021. – № 1047 012062. doi:10.1088/1757-899X/1047/1/012062.

On the ways of forming information structures for modeling objects, environments and processes

N.V. Zenyutkin[1] , D.I. Kovalev[2,3*], E.V. Tuev[4] , E.V. Tueva[4]

[1] Siberian Federal University, 79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russia
[2] Krasnoyarsk State Agrarian University, 90, Mira pr., Krasnoyarsk, 660049, Russia
[3] Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, 61, Uritskogo street, Krasnoyarsk, 660049, Russia
[4] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russia

* E-mail: grimm7jow@gmail.com

Abstract. The paper discusses the well-known concepts of matter, objects, environments, information and information field in relation to the proposed information representation of the interaction of objects and environments based on the description of their information structures. An overview of the methods of forming information structures for modeling objects, environments and processes is given. It is shown that without using the concept of the environment, as an entity in which objects exist and are reflected in time and in a certain space, it is not always possible to accurately describe the change in the state of an object. This is due to the fact that the current state of an object depends both on the action of other objects on it and on its ability to reflect a specific physical or other environment in which it and other objects exist. From the presented review of approaches to object-oriented methods of modeling objects, environments and processes, it can be concluded that it is fundamentally important to take into account the physical and spatial environment in which they interact in object methods of modeling and programming complex objects and systems. Using programming languages, we can create and even manage the information structures of objects and environments. They are called abstract because they are not informational representations of the corresponding physical objects and environments. An example of such capabilities are special programming languages for creating virtual objects and virtual worlds. Created on the basis of special programming languages, virtual simulators help specialists of various professions acquire skills in managing real objects, technological processes, etc.

Keywords: information structure, object, environment, modeling, programming

УДК 658.512.001.56

О способах формирования информационных структур для моделирования объектов, сред и процессов

Н.В. Зенюткин[1] , Д.И. Ковалев[2,3*], Е.В. Туев[4], Е.В. Туева[4]

[1] Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041, Россия
[2] Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, 90, Красноярск, 660049, Россия
[3] Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений, ул. Урицкого, 61, Красноярск, 660049, Россия
[4] Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, пр. Красноярский рабочий, 31, Красноярск, 660037, Россия

* E-mail: grimm7jow@gmail.com

Абстракт. В работе рассматриваются известные понятия материи, объектов, сред, информации и информационного поля применительно к предлагаемому информационному представлению взаимодействия объектов и сред на основе описания их информационных структур. Дается обзор способов формирования информационных структур для моделирования объектов, сред и процессов. Показано, что без использования понятия среды, как сущности, в которой во времени и в определенном пространстве существуют и отражаются объекты, не всегда достаточно точно можно описать изменение состояния объекта. Это связано с тем, что текущее состояние объекта зависит, как от действия на него других объектов, так и от его способности отражать конкретную физическую или другую среду, в которой он и другие объекты существуют. Из представленного обзора подходов к объектно-ориентированным методам моделирования объектов, сред и процессов можно сделать вывод, что принципиально важно в объектных методах моделирования и программирования сложных объектов и систем учитывать физическую и пространственную среду, в которой они взаимодействуют. Используя языки программирования, мы можем создавать и даже управлять информационными структурами объектов и сред. Их называют абстрактными, так как они не являются информационными представлениями соответствующих физических объектов и сред. Примером таких возможностей являются специальные языки программирования для создания виртуальных объектов и виртуальных миров. Созданные на основе специальных языков программирования виртуальные тренажеры помогают специалистам различных профессий получать навыки управления реальными объектами, технологическими процессами и т.д.

Ключевые слова: информационная структура, объект, среда, моделирование, программирование

1. Введение

При решении задач управления различными объектами возникает необходимость идентификации объектов на основе оценок эквивалентности и классификации их информационных образов или соответствующих информационных представлений [1-4]. Математические модели также являются информационными, так как математическими символами или математическим языком описываются свойства и признаки объектов, которые отражают их соответствующую сущность. Если исследователь (интеллектуальная структура) понимает смысл, заключенный в информационных представлениях объектов, которые могут выражаться в любой информационной форме (изображение, звук и т.д.), то это означает, что он может распознавать, классифицировать и управлять ими.

Распознавание информационных образов можно отнести к задачам теории информации, которые связаны с теоретическими и практическими основами построения адаптивных систем управления, систем управления знаниями, искусственного интеллекта, систем принятия решений и т.д.

Результат принятия решений экспертами или системами с искусственным интеллектом часто определяется адекватностью представления объекта соответствующей моделью, а также результатами определения эквивалентности или классификации объектов на основе анализа их информационных образов.

Современная теория распознавания образов является разделом науки, который находится на этапе накопления знаний об информационных представлениях объектов и их взаимосвязей.

В данной работе не будут рассматриваться конкретные методы распознавания, их точность и т.д. Нас интересуют наиболее общие и основополагающие проблемы распознавания:

- какие информационные признаки объектов являются наиболее общими для их классификации;
- какими информационными признаками должны обладать эквивалентные объекты;
- всегда ли эквивалентные информационные образы принадлежат эквивалентным объектам;
- могут ли эквивалентные объекты иметь неэквивалентные информационные образы;
- на основе, какой информации об объектах задача определения их эквивалентности теоретически имеет решение.

Для ответов на эти вопросы в работах [5-10] введены понятия информационной структуры объекта и его окружающей среды, которые базируются на философских представлениях об «отражении» и «информации».

В работе [11] предложено информационные структуры классифицировать, как открытые, закрытые и смешанные в соответствие с принадлежностью объектов к открытым, закрытым и смешанным (связанным) средам отражения. Это дает возможность рассматривать информационные представления объектов и сред отражения в пространствах их совместного существования, что важно для моделирования и идентификации сложных пространственных объектов и систем.

Решение задачи распознавания объектов рассматривается, как интеллектуальная, которая непосредственно связана с получением знаний через отражение информационных представлений об объектах в интеллектуальной среде.

Определение эквивалентности и классификации объектов основывается на анализе взаимосвязей их информационных структур, которые определяются на основе теории множеств. Такой подход дает возможность описывать, анализировать и делать выводы об эквивалентности и классификации объектов в виде, который удобен для обсуждаемых проблем распознавания [12-15].

В работе рассматриваются известные понятия материи, объектов, сред, информации и информационного поля применительно к предлагаемому информационному представлению взаимодействия объектов и сред на основе описания их информационных структур. Соответственно определены следующие понятия.

Информационная структура связывает информационные представления результатов взаимодействия или отражения объектов и сред с информационными представлениями их способностей отражения и информационными представлениями отраженных объектов и сред.

Информационный образ есть информационное представление результатов отражения объекта или среды при их взаимодействии.

Функции отражения являются информационным представлением способности отражения объекта или среды.

Информация об отраженных объектах и средах есть их информационное представление, которое в наиболее полном виде характеризуется их информационной структурой.

Полная совокупность информационных представлений отражений объектов и сред определяет их общее информационное поле.

2. Основные понятия об информационных структурах

Любая задача управления предполагает наличие объекта управления. Объектами управления могут быть различные физические и не физические тела как живой, так и не живой природы.

Известно [1,2], что теория управления оперирует с моделями объектов, которые могут быть математическими, физическими, логическими и т. д.

Реальное управление возможно только реальными объектами.

Поэтому при решении задачи теоретического синтеза управления реальным объектом важно достоверное или адекватное описание его модели. В противном случае решение теоретической задачи управления останется только теорией, которую не возможно перенести на практику.

Для достоверного описания модели объекта используются различные методы и алгоритмы идентификации.

Под идентификацией [2] в широком смысле понимается получение или уточнение модели в тех или иных терминах по экспериментальным данным, полученным при исследовании реального объекта.

Таким образом, экспериментальные данные являются мерой или оценкой модели объекта. Однако необходимо заметить, что по экспериментальным данным мы также оцениваем или представляем реальный объект в виде информационных образов.

Следовательно, экспериментальные данные или информация об объекте и есть в нашем понимании реальный объект для задачи построения его модели.

Поэтому перед исследователями всегда стоит задача информационного описания объекта на основе использования различных оценивающих приборов и датчиков, к которым также можно отнести органы чувств и интеллектуальные способности самого исследователя.

Исследователь может представить информационное описание объекта в виде его информационной структуры. Современные компьютерные технологии предоставляют возможность обрабатывать и сохранять результаты исследований в виде соответствующей информации в базах данных компьютеров, которые могут быть объединены в различные информационные сети.

Перед каждым исследователем встает вопрос, что такое полное описание объекта или что собой представляет полная информационная структура объекта и чем она отличается от реального объекта?

Объяснение этого вопроса непосредственно связано с философскими понятиями материи, информации, существования материи и информации.

Известно большое разнообразие этих философских понятий, например [3-5]. В работе [13] представлен обзор употребляемых понятий термина информации, который показывает, что феномен информации имеет огромное значение для понимания законов построения и развития Вселенной. На наш взгляд, наиболее общая взаимосвязь между материей (объектами) и информацией представлена в работах, которые можно отнести к теоретическим представлениям об информационном поле (ИП) [6-8] и основополагающим принципам построения интеллектуальных систем [11].

В соответствие с [7] под ИП объекта необходимо понимать «поле отражения объекта в окружающей среде, структура которой соответственно видоизменяется». Связь между материей и информацией в [7] характеризуется следующим образом. «Неоднородность пространственного распределения материи есть ее структура, а ее существование во времени есть движение материи. Структура (или материя) в движении (изменение) есть информация, без которой материя не может существовать, как не может существовать и информация без материи. Следовательно, информация есть философская категория, равнообъемная категории материи и парная ей».

В работе Полякова А.О. и Лачинова В.М. по информодинамике [11] отмечена аналогичная связь между материей и информацией: "неразделимость физической и информационной половинок Мира. Но эта неразделимость обязательна только для Реального Мира, может существовать и множество чисто виртуальных Миров".

Отметим, что виртуальные миры могут создаваться и существовать только в физическом носителе информации (например, человек или компьютер), а это соответствует неразделимости физической и информационной составляющей Мира. Можно предположить, что авторы [11] выделяют виртуальный Мир в самостоятельный, так как он не имеет соответственного физического аналога. Однако это не означает, что виртуальный Мир является самостоятельно рожденной и развивающейся информационной сущностью. Для его рождения необходим физический субъект.

Таким образом, информационное представление изменения объектов во времени и есть ИП объектов [7], которое интегрально состоит из информационных полей каждого объекта и изменяется в соответствии с изменениями информационных полей этих объектов.

Н. Винер [5] отмечает, что «информация есть информация, а не материя и не энергия». Это высказывание согласуется с определениями информации, которые приведены в [7,11].

Колмогоров А.Н. и Глушков В.М. [6,7] под понятием информации понимали характеристики внутренней организованности материальной системы, которые проявляются во множестве ее состояний.

Под термином информационная структура объекта или среды часто понимают базы данных их информационных признаков [16-18].

Понятие информационной структуры объекта, как его определенной информационной сущности, должно включать не только информационное представление результата изменения объекта во времени, но и информационные представления способности к этому изменению, что соответствует внутренней организованности объекта [13], а также информационное представление причин, которые привели к результату изменения [4]. Тоже относится к понятию информационной структуры среды.

Следовательно, понятие модели объекта и его окружающей среды должно означать более или менее точное представление их информационных структур в нашем сознании или понимании.

3. Терминология и основные определения

В соответствие с [7,11-13] можно ввести следующее определение понятия информационной структуры окружающей среды объектов или среды. При этом под окружающей средой в широком смысле понимаем физическую или любую другую сущность, в которой во времени и в определенном пространстве существуют, отражают и отражаются объекты. Например, воздушная, морская, социальная, интеллектуальная, операционная среды и т.д.

Определение 1.1

Под термином информационная структура среды будем понимать информационную сущность, которая характеризует связь информационного образа этой среды с ее функциями отражения и информацией об объекте отражения.

Объясним термины, используемые в этом определении.

Информационный образ среды есть информационное представление изменения среды в результате взаимодействия или отражении в ней объектов. В соответствие с определением 1.1 информационный образ среды формируют ее функции отражения, а также информация об объектах отражения.

Функции отражения являются информационным представлением способности среды отражать объекты, а информация об объекте отражения есть информационное представление объекта, которое определяет причину изменения информационного образа среды. Если нет объекта, то нет его отражения в среде. Способность среды отражать объекты является ее индивидуальной внутренней характеристикой, которая может использоваться для определения отличия и сходства между средами. Эту характеристику можно назвать

индивидуальным паспортом среды, который формирует ее состояние или изменение в зависимости от отраженных объектов. Поэтому по информационным представлениям способности среды отражать объекты можно идентифицировать и классифицировать среды. Информация об отраженном объекте есть его информационное представление. В наиболее полном виде информационное представление отраженного объекта характеризуется его информационной структурой.

Следовательно, информационный образ среды, как информационное представление результата отражения в ней объектов, содержит в себе всю информацию об отраженных объектах и способностях среды отражать эти объекты.

Соответственно можно сформулировать следующие определения информационного образа среды, ее функций отражения и информации об объекте отражения.

Определение 1.2

Под информационным образом среды будем понимать информационное представление результата изменения этой среды при отражении в ней объекта.

Определение 1.3

Под функциями среды отражения будем понимать информационное представление ее способностей отражать объекты.

Определение 1.4

Под информацией об объекте отражения будем понимать его информационное представление.

В соответствие с определением 1.1 информационную структуру среды отражения в наиболее общем виде можно описать, как

$$I_{eo} = f_{eo}\ (I_o), \qquad (1)$$

где I_{eo} - информационный образ среды отражения, f_{eo} - функции среды отражения, I_o - информация об объекте отражения.

Необходимо отметить, что выражение (1) только формально характеризует, что существует связь между информационным образом среды с ее функциями отражения и информацией об объекте отражения. Качественные и количественные оценки этой связи возможны только при анализе информационных представлений конкретных сред. Далее будет показано, что аналогично существует связь информационного образа объекта с его функциями отражения и информацией об отраженной среде. Эта связь объясняется тем, что в результате взаимодействия объекта и среды всегда возникают соответствующие изменения состояния, как объекта, так и среды, которые также проявляются в их информационных структурах.

В соответствие с [7,11-13] введем определение информационной структуры объекта. При этом под объектом в широком смысле понимаем физическую или любую другую сущность, которая существует во времени и в определенном пространстве окружающей среды.

Определение 1.5

Под термином информационная структура объекта будем понимать информационную сущность, которая характеризует связь информационного образа объекта с его функциями отражения и информацией об отражаемой окружающей среде.

Информационный образ объекта следует понимать, как информационное представление изменения объекта в результате его взаимодействия с окружающей средой. В соответствие с определением 1.5 информационный образ объекта формируют его функции отражения, а также информация об отражаемой окружающей среде. При этом окружающая среда может включать в себя и другие объекты. Функции отражения являются информационным представлением способности объекта отражать среду. Если нет среды, то объект не может ее отразить. Способность объекта отражать среду является его индивидуальной внутренней характеристикой, которая может использоваться для определения отличия и сходства между объектами. Поэтому по информационным представлениям способности объекта отражать среду можно идентифицировать и классифицировать объекты. Информация об отражаемой среде определяет причину, которая вызвала изменения информационного образа объекта, так как способность объекта отражать среду проявляется только тогда, когда объект попадает в соответствующую среду. Информацию об отражаемой среде необходимо понимать, как информационное представление этой среды. В наиболее полном виде информационное представление среды есть ее информационная структура.

Следовательно, информационный образ объекта содержит в себе всю информацию об отраженных средах и индивидуальных внутренних способностях объекта отражать эти среды.

Соответственно можно сформулировать следующие определения информационного образа объекта, его функций отражения и информации об отражаемой среде.

Определение 1.6

Под термином информационный образ объекта будем понимать информационное представление изменения объекта в результате его отражения окружающей среды.

Определение 1.7

Под функциями отражения будем понимать информационное представление способностей объекта отражать среду.

Определение 1.8

Под информацией об отражаемой среде будем понимать информационное представление этой среды.

В соответствие с определением 1.5 информационную структуру объекта можно описать, как

$$I_{oe} = f_{oe}\,(I_e), \qquad (2)$$

где I_{oe} - информационный образ объекта, f_{oe} - функции отражения объекта, I_e - информация об отражаемой среде.

При этом понимаем, что отражение объектов и сред происходит во времени и в определенном пространстве. Поэтому их информационные структуры также характеризуют эти отражения во времени и в пространстве.

Покажем на абстрактном примере, какой смысл заключен в термине информационная структура.

Предположим, что имеются датчики информации, которые теоретически точно и полно фиксируют, но не влияют на результат отражения, способность отражения, отражаемые среды и объекты. Поэтому, полученная информация только характеризует отражение объектов и сред, а не является их физической сущностью.

Зафиксированные результаты изменения состояния сред и объектов при отражении будут представлять их информационные образы I_{eo} и I_{oe} в соответствующих информационных структурах сред и объектов.

Зафиксированные способности сред и объектов изменять свои состояния при отражении, представляют их функции отражения f_{eo} и f_{oe} в соответствующих информационных структурах сред и объектов.

Зафиксированные отраженные среды и объекты будут представлять о них информацию Io и I_e в соответствующих информационных структурах сред и объектов.

Этот пример показывает, что термин информационная структура означает только информационное представление отражения объектов и сред, но не их физическое взаимодействие. С помощью информационных структур мы можем представить и даже продемонстрировать на экране компьютера, что в процессе сжигания топлива выделяется тепло. Но это не означает, что мы в компьютере реально сжигаем топливо. Информационные структуры нам дают возможность моделировать объекты, среды и их процессы взаимодействия, а также демонстрировать результаты этих взаимодействий.

Необходимо понимать, что восприятие окружающего мира человеком, животным или насекомым различно и зависит от их органов чувств, интеллектуальных способностей и т. д. Поэтому информационные представления отражения одних и тех же объектов и сред для них будут различны. Однако это не означает, что информационных структур не существует и их нельзя изучать, а результаты использовать для развития информационных технологий.

В соответствие с тем, что материя или объекты существуют в движении или изменении, а информационная составляющая Мира неразделима с физической, то с нашей точки зрения, выражения (1), (2) описывают *основной закон изменения ИП*. Он характеризует информационное представление изменчивости объектов и сред.

Определение 1.9

Под основным законом изменения информационного поля будем понимать изменение информационных образов объектов и сред в соответствие с их функциями отражения и информацией об отраженных средах и объектах.

На практике для описания и исследования информационных структур могут использоваться различные языки программирования (в частности, объектно-ориентированные).

В объектно-ориентированном программировании и моделировании [3] есть понятие объект, но нет специально определенного понятия среда. Можно предположить, что в этих языках под средой отражения конкретного объекта следует понимать совокупность других объектов, которые могут влиять на изменение его состояния. Важно, что без использования понятия среды, как сущности, в которой во времени и в определенном пространстве существуют и отражаются объекты, не всегда достаточно точно можно описать изменение состояния объекта. Это связано с тем, что текущее состояние объекта зависит, как от действия на него других объектов, так и от его способности отражать конкретную физическую или другую среду, в которой он и другие объекты существуют. Например, информационная модель морского судна, которое находится в водной среде, должна существенно измениться, если судно находится на суше. В этом случае взаимодействие судна с другими объектами, например с экипажем, который запустил двигатель, не дает ему возможность передвигаться по суше. Таким образом, среда, в которой находится судно, является существенным фактором для его движения, но не влияет на запуск двигателя. Этот пример показывает, что для судна окружающей средой являются, как объекты, так и физическая среда (вода, суша, тепловое окружение и т.д.), которые могут влиять на его текущее состояние.

4. Заключение

Из представленного обзора подходов к объектно-ориентированным методам моделирования объектов, сред и процессов можно сделать вывод, что принципиально важно в объектных методах моделирования и программирования сложных объектов и систем учитывать физическую и пространственную среду, в которой они взаимодействуют.

Заметим, что, используя языки программирования, мы можем создавать и даже управлять информационными структурами объектов и сред, которые существуют или существовали только абстрактно. Их можно назвать абстрактными, так как они не являются информационными представлениями соответствующих физических объектов и сред. Примером таких возможностей являются специальные языки программирования для создания виртуальных объектов и виртуальных миров. Созданные на их основе тренажеры, помогают специалистам различных профессий получать навыки управления реальными объектами, технологическими процессами и т.д. Однако виртуальные объекты и среды могут быть основой для создания реальных объектов. Используя специальные среды компьютерного проектирования CAD/CAM, инженеры разрабатывают виртуальные объекты, которые далее используются для производства реальных изделий. В результате эти виртуальные объекты становятся соответствующими информационными представлениями физически существующих станков, кораблей и т.д. Следовательно, интеллектуальные способности человека дают возможность получать знания из информации и на этой основе создавать новую информацию, а также новые объекты и среды, которых ранее не было в природе.

Список литературы

[1] Корн, Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – 4-е изд. – М.: Наука, 1978. – 719 с.

[2] Алгазинов, Э. К. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем / Э. К. Алгазинов, А. А. Сирота; под общ. ред. д-ра техн. наук А. А. Сироты. – М.: Диалог-МИФИ, 2009. – 416 с.

[3] Горлушкина, Н. Н. Системный анализ и моделирование информационных процессов и систем / Н. Н. Горлушкина. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 120 с.

[4] Шенон, К. Работы по теории информации в кибернетике / К. Шенон. – М.: ИЛ, 1963.

[5] Винер, Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине / Н. Винер; пер. с англ. И. В. Соловьева, Г. Н. Поварова; под ред. Г. Н. Поварова. – 2-е издание. – М.: Наука; Главная редакция изданий для зарубежных стран, 1983. – 344 с.

[6] Глушков, В. М. Мышление и кибернетика / В. М. Глушков // Вопросы философии. – 1963.

– № 1. – С. 10-24.

[7] Колмогоров, А. Н. Три подхода к определению понятия «количество информации» / А. Н. Колмогоров // Проблемы передачи информации. – 1965. – Т.1. – Вып.1. – С. 25-38.

[8] Блюменау, Д. И. Информация и информационный сервис. Л.: Наука, 1989.

[9] Попов, Э. В. Экспертные системы решения неформализованных задач в диалоге с ЭВМ / Э. В. Попов. – М.: Наука, 1987.

[10] Поспелов, Д. А. Данные и знания. Представление знаний / Поспелов Д. А. // Искусственный интеллект. Кн. 2: Модели и методы: Справочник / под ред. Д. А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. 7-13 с.

[11] Лачинов, В. М. Информодинамика / В. М. Лачинов, А. О. Поляков – СПб, издательство СПбГТУ, 1999.

[12] Кузнецов, Н. А. Состояние, перспективы и проблемы развития информатики / Н. А. Кузнецов, Р. И. Полонников, Р. М. Юсупов В кн. Теоретические основы и прикладные задачи интеллектуальных информационных технологий. – СПб, Изд. СПИИРАН, 1998.

[13] Вебер, А. В. Knowledge-технологии в консалтинге и управлении предприятием / А. В. Вебер , А. Д. Данилов, С. И. Шифрин. – СПб: Наука и Техника, 2003.

[14] Шапошников, Г. Г. Классификация информационных систем, используемых в предпринимательской деятельности / Г. Г. Шапошников // Вопросы современной юриспруденции. – 2016. – №. 5(56). – С. 70-79.

[15] Мищенко, О. В. Классификация событий для системы анализа надёжности функционирования технических средств аэронавигационной системы России / О. В. Мищенко, А. А. Апанасов, В. И. Семенов // Научный вестник МГТУ ГА. – 2012.
– № 180. – С. 60-64.

[16] Конюхов, В. Г. База данных. Понятие, значение и роль в современном мире / В. Г. Конюхов // Системные технологии. – 2017. – № 24. – С. 61-63.

[17] Васильева, К. Н. Реляционные базы данных / К. Н. Васильева, Г. Я. Хусаинова // Colloquium-journal. – 2020. – №2(54). – С. 22-23. doi:10.24411/2520-6990-2020-11217.

[18] Зыкин, С. В. Технология раздельного формирования многомерных данных / С.В. Зыкин, С. В. Мосин, А. Н. Полуянов // Advanced Engineering Research. – 2016. – 2(85). – С. 121-128.

Research of the efficiency of application of technologies of wavelet analysis in the tasks of recognition of images

V. S. Maraev

Siberian Federal University, 79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russia

E-mail: slava9517538426@gmail.com

Abstract. The work is devoted to the experimental comparison of the accuracy of classification methods on the problem of pattern recognition in images using wavelet analysis technologies and without. In particular, the interaction of the ring-projection wavelet-fractal method for identifying features with classical classification methods such as "Naive Bayes classifier" and "Support vector machines" is investigated. The experimental test results are given in the form of a table. As a result, it is established that the introduction of wavelet analysis into the construction of image classification models is justified, and leads to a relatively small but significant increase in the classification accuracy.

Keywords: wavelet analysis, pattern recognition, classification methods, data processing, naive Bayes classifier, support vector machines.

УДК 004.852

Исследование эффективности применения технологий вейвлет-анализа в задачах распознавания образов

В. С. Мараев
Сибирский Федеральный Университет, кафедра информатики института космических и информационных технологий, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041, Россия

E-mail: slava9517538426@gmail.com

Аннотация. Работа посвящена экспериментальному сравнению точности методов классификации на задаче распознавания образов на изображениях с использованием технологий вейвлет-анализа и без. В частности, исследуется взаимодействие кольце-проекционного вейвлет-фрактального метода для выявления признаков с классическими методами классификации, такими как «Наивный классификатор Байеса» и «Машины опорных векторов». Экспериментальные результаты тестирования приводятся в виде таблицы. В итоге устанавливается, что внедрение вейвлет-анализа в построение моделей классификации изображений оправдано, и приводит к относительно малому, но значимому повышению точности классификации.

Ключевые слова: вейвлет анализ, распознавание образов, методы классификации, обработка данных, наивный классификатор Байеса, машины опорных векторов.

1. Введение

Распознавание образов является передовой областью, в настоящее время возникает множество новых технологий в ней, и, как известно, не существует абсолютного решения для задачи распознавания образов. Поэтому предлагается исследовать применение технологий вейвлет-анализа в задаче распознавания образов.

Технологии вейвлет-анализа достаточно перспективны и гибки в использовании и в связке с некоторыми алгоритмами машинного обучения могут повысить их точность и эффективность, в том числе, крайне существенно. Они могут быть применены на совершенно разных этапах процесса машинного распознавания образов: от выделения признаков и до выполнения классификации [1].

Один из главных этапов в классификации изображений это выделение набора значимых признаков на изображениях. Именно сюда будет легче всего внедрить вейвлет-анализ. Задача выделения признаков состоит в том, чтобы охарактеризовать образ и, кроме того, уменьшить

размерность пространства изображения до пространства, подходящего для применения методов классификации [2].

В данной статье мы исследуем применение технологий вейвлет-анализа для построения моделей распознавания образов. А также, проведём экспериментальное сравнение эффективности применения особых методов вейвлет-анализа для выделения признаков и применения классических алгоритмов выделения признаков для последующей классификации. Таким образом, спроектируем математическую модель распознавания образов на основе технологий вейвлет-анализа.

2. Методы

Для экспериментов же мы используем кольце-проекционный вейвлет-фрактальный метод (Ring-Projection-Wavelet-Fractal Method) [3]. Используемый метод можно отнести к классу методов выделения признаков ортогонального расширения.

Ранее, было выявлено, что в задаче анализа изображений двумерный вейвлет-анализ не особо эффективен, поэтому желательно свести задачу к одномерному вейвлет-анализу [4]. В этом и заключается основная идея кольце-проекционного вейвлет-фрактального метода: свести проблему двумерных объектов в одномерные, тогда мы можем использовать одномерное вейвлет-преобразование для решения проблемы распознавания. Блок схема алгоритма кольце-проекционного вейвлет-фрактального метода приведена на рисунке 1.

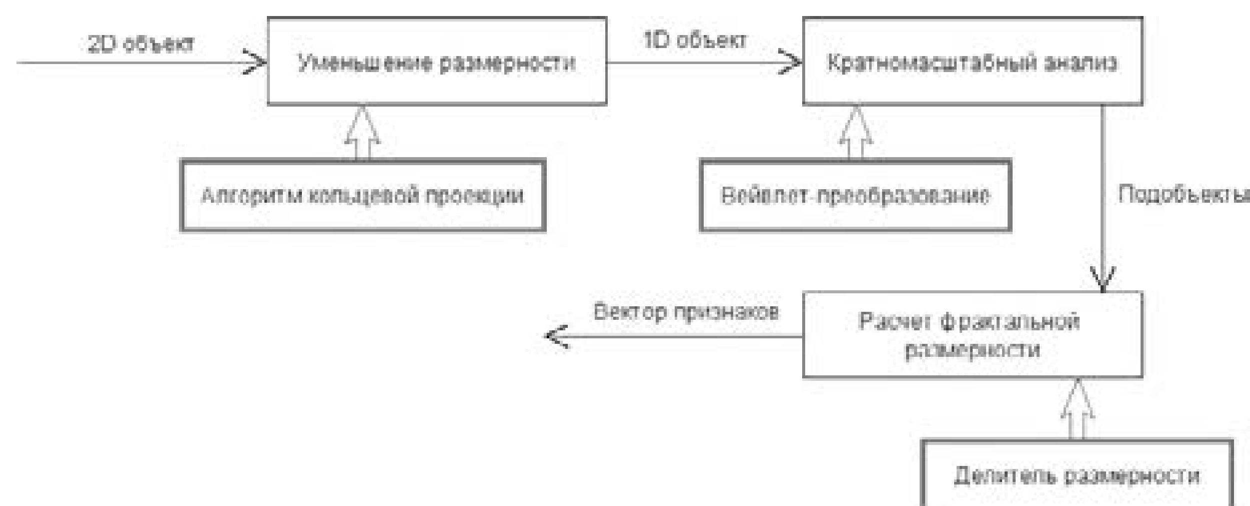


Рисунок 1. Блок схема алгоритма кольце-проекционного вейвлет-фрактального метода.

Используя кольце-проекционный вейвлет-фрактальный метод, мы получаем вектор признаков на выходе. Затем, можно использовать вектор признаков и базу данных всех признаков для классификации.

3. Результаты

Проведём сравнение точности работы некоторых популярных методов классификации на задаче распознавания образов на изображениях с использованием кольце-проекционного вейвлет-фрактального метода для выявления признаков с классическим свёрточным методом выявления признаков. Для исследования возьмём следующие методы классификации: «Наивный классификатор Байеса» и «Машины опорных векторов». Алгоритмы были реализованы на языке Python, с использованием библиотек scikit-learn [5] и PyWavelets [6].

В качестве набора данных для задачи распознавания образов на изображениях выбрана классическая база данных изображений рукописных цифр MNIST [7]. Пример изображений из набора приведён на рисунке 2.

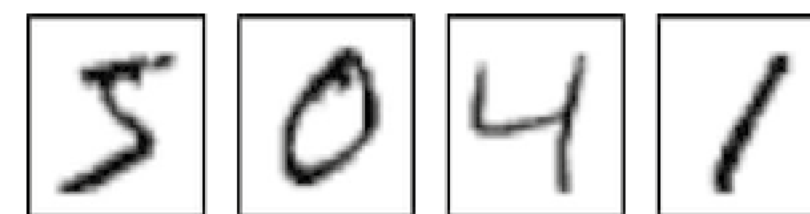


Рисунок 2. Пример изображений из набора данных MNIST.

В качестве альтернативы для сравнения степени изменения точности классификации при применении описанного кольце-проекционного вейвлет-фрактального метода выделения признаков были взяты стандартные свёрточные алгоритмы выделения признаков из изображения.

Так как набор данных не бинарный, то используется мульти классовый SVM: решающее правило основано на разбиении задачи на бинарные по схеме "один против остальных" (One-vs-Rest).

Для каждой комбинации метода классификации и метода выделения признаков проведено обучение, валидация и оценка точности на тестирующем множестве (20% от выборки). Для каждого метода классификации был проведён подбор наиболее эффективных гиперпараметров по сетке (Grid search). В итоге, для каждого метода высчитана точность при проведении повторной 10-и блоковой перекрёстной проверки (10-fold cross-validation). Данные о точности и скорости собраны в таблице 1.

Таблица 1. Результаты экспериментов.

Метод выделения вектора признаков	Наивный байесовский классификатор			Метод опорных векторов (SVM)		
	Точность	Время обучения (с.)	Время предсказания (с.)	Точность	Время обучения (с.)	Время предсказания (с.)
Кольце-проекционный вейвлет-фрактальный метод	0.970	1.98	0.015	0.985	2.52	0.010
Свёрточный алгоритм	0.942	1.15	0.009	0.973	1.88	0.006

4. Анализ

Первое что можно заметить – метод классификации SVM сработал во всех случаях лучше, чем наивный Байес. Однако нас интересует, способен ли исследуемый кольце-проекционный вейвлет-фрактальный метод выделения признаков превзойти стандартные свёрточные алгоритмы и дать выигрыш в точности классификации.

Как видно, нам удалость несколько повысить точность для обоих методов классификации. Статистическая значимость повышения точности подтверждается t-тестом Стьюдента при уровне значимости 0.05. При использовании наивного Байеса ошибка классификации была уменьшена на 93.3% (относительно), а при использовании SVM на 80.1%. Но в тоже время, использование вейвлет-анализа повышает как время обучения, так и время предсказания в обоих случаях. В среднем для обоих методов классификации, время обучения повышается на 53.1%, а время предсказания на 66.67%.

Таким образом, экспериментально установлено, что внедрение вейвлет-анализа в построение моделей классификации изображений полностью оправдано, как минимум в данной задаче распознавания образов рукописных цифр. Однако, нельзя утверждать, что представленный метод применения вейвлет-анализа будет также обеспечивать повышение точности при использовании других методов классификации, или же в иных задачах распознавания образов.

5. Заключение

В работе выполнено экспериментальное сравнение точности методов классификации на задаче распознавания образов на изображениях с использованием технологий вейвлет-анализа и без.

Установлено, что внедрение вейвлет-анализа в построение моделей классификации изображений полностью оправдано, и приводит к относительно малому, но значимому повышению точности классификации. Таким образом, данный метод обладает широким потенциалом для внедрения в автоматизированные системы.

Однако, нельзя утверждать, что представленный метод применения вейвлет-анализа будет также обеспечивать повышение точности при использовании других методов классификации, или же в иных задачах распознавания образов. Таким образом, дальнейшие исследования в этой области целесообразно направить эксперименты по взаимодействию кольце-проекционного вейвлет-фрактального метода с другими типами классификаторов, например, «K ближайших соседей», бустинг, случайный лес, с другими материнскими вейвлетами (помимо «мексиканской шляпы») и, конечно, на других, более сложных (чем MNIST) задачах распознавания образов.

Кроме того, использование вейвлет-анализа в распознавании образов не заканчивается только на методе выделения признаков. Исследование применения других технологий могут быть проведены в последующих исследованиях.

Список литературы

[1] Смоленцев, Н. К. Введение в теорию вейвлетов / Н. К. Смоленцев. – Ижевск: РХД, 2010. – 292 с.

[2] Фомин, Я. А. Распознавание образов: теория и применения. – 2-е изд. / Я. А. Фомин. – М.: ФАЗИС, 2012. – 429 с. ISBN 978-5-7036-0130-4.

[3] Larson, David R. "Wavelet Analysis and Applications (See: Unitary systems and wavelet sets)". / David R. Larson. // Appl. Numer. Harmon. Anal. Birkhäuser. – 2007. – C. 143-171.

[4] Guo, T. "Deep wavelet prediction for image super-resolution" / T. Guo, H. S. Mousavi, T. H. Vu, V. Monga // Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. Workshops. – 2017. – C. 1100-1109.

[5] scikit-learn library for python // Main page «Machine Learning in Python with scikit-learn» — URL https://scikit-learn.org/ (22.10.2020).

[6] PyWavelets library for python // Main page «Wavelet Transforms in Python» — URL https://pywavelets.readthedocs.io/ (22.10.2020).

[7] LeCun, Yann. MNIST handwritten digit database / Yann LeCun, Corinna Cortes, Chris Burges // The home of the database — URL http://yann.lecun.com/exdb/mnist/ (22.10.2020).

Application of the modified ant colony algorithm for solving the problem of scheduling of distributed enterprises

Danil D. Bukhovtsev

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

E-mail: wav9@yandex.ru

Abstract. The task of scheduling of distributed enterprises is to assign tasks to geographically remote enterprises and to determine a convenient work schedule for each of the enterprises. The goal of solving this problem is to minimize the total production time at all enterprises. This article is the first step towards solving the scheduling problem using different versions of the ant colony algorithm: the classic ant colony algorithm, the ant colony system algorithm, and the modified ant colony algorithm.

Keywords: ant algorithm, scheduling, modification

УДК 004.021

Применение модифицированного алгоритма муравьиной колонии для решения задачи календарного планирования распределенных предприятий

Данил Денисович Буховцев

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

E-mail: wav9@yandex.ru

Аннотация. Задача календарного планирования распределенных предприятий заключается в назначении заданий территориально удаленным предприятиям и определении удобного рабочего графика для каждого из предприятий. Целью решения данной задачи является минимизация общего времени изготовления на всех предприятиях. Данная статья является первым шагом к решению задачи календарного планирования с использованием различных версий алгоритма муравьиной колонии: классический муравьиный алгоритм, алгоритм системы муравьиных колоний и модифицированный алгоритм муравьиной колонии.

Ключевые слова: муравьиный алгоритм, календарное планирование, модификация.

1. Введение

Производственная отрасль сталкивается с множеством проблем: обеспечение роста прибыли, повышение производительности и снижение затрат при быстром реагировании на требования клиентов. Для сохранения конкурентоспособности и приближения к рыночным требованиям, промышленные компании всё чаще склоняются к распределению. В связи с этим структура их цехов изменяется от классических к распределенным.

В этой статье мы обратимся к задаче календарного планирования распределенных предприятий, которую можно рассматривать как расширение простой задачи календарного планирования предприятия. Планирование заданий представляет собой некоторый набор f идентичных по структуре цехов, которые географически распределены по разным районам. В каждом цехе имеется m станков, которые могут обрабатывать определенное количество заданий. Очевидно, что задача календарного планирования для распределенных предприятий намного сложнее, чем задача классического планирования, поскольку необходимо решить две проблемы: распределить задания по подходящим цехам и упорядочить операции на станках с

целью минимизации одного или нескольких заранее определенных критериев производительности.

Решением рассматриваемой проблемы является минимизация максимальной продолжительности обработки заданий $C_{\max}$ среди всех распределенных цехов, использующих три версии алгоритма муравьиной колонии.

Оставшаяся часть статьи организована следующим образом. В разделе 2 приводится небольшой литературный обзор существующих работ по данной теме, оговариваются некоторые нюансы распределенного календарного планирования. В разделе 3 описывается популярная модель представления календарного планирования – дизъюнктивный граф. В разделе 4 описан эффективный способ распределения заданий по цехам. В разделе 5 рассматриваются 3 версии алгоритма муравьиной колонии. В разделе 6 проводится оценка эффективности алгоритмов. В разделе 7 подводятся основные итоги.

2. Современное состояние проблемы распределенного планирования

За последние три десятилетия задачи планирования стали пользоваться особой популярностью у исследователей и промышленников. В связи с тенденцией к глобализации календарное планирование превратилось из классического в распределенное, требующее к себе особого внимания. В литературе лишь небольшое количество исследователей обращалось к данной проблеме, а используемые ими методы для её решения весьма ограничены. Задачу распределенного календарного планирования можно сформулировать следующим образом: имеется множество независимых заданий $J = \{j_1, \dots, j_n\}$, где каждое задание состоит из упорядоченного набора операций. Каждая операция должна выполняться на определенном станке m из набора $M = \{i_1, \dots, i_m\}$ географически распределённых на f цехах, каждый из которых обладает одинаковым набором M. Группой исследователей во главе с X. Джиа был предложен подход на основе генетического алгоритма, чтобы облегчить взаимодействие между географически распределенными предприятиями [1]. В другой статье этих же исследователей, для решения аналогичной проблемы был представлен модифицированный генетический алгоритм, в котором использовался двухэтапный метод кодирования для воздействия на задания и операции [2]. Позже они усовершенствовали предложенный алгоритм и интегрировали его с диаграммой Ганта, чтобы найти оптимальное рабочее время для каждого из предприятий [3].

В [4] дан подробный литературный обзор задачи календарного планирования распределенных предприятий и описана классификация используемых методов. Основная цель календарного планирования – составить оптимальное расписание, которое смогло бы минимизировать заданный критерий, связанный, в большинстве случаев, со временем.

Существуют различные ограничения, связанные как с заданиями, так и со станками. Распределенное календарное планирование предполагает следующий ряд допущений:

- Все задания независимы и доступны для выполнения в момент времени $t = 0$.
- Все станки постоянно доступны.
- После того, как задание назначено конкретному цеху, его нельзя передать другому, так как все операции должны выполняться в одном цеху.
- Все задания могут быть выполнены в любых цехах.
- Нет никаких ограничений по приоритету между операциями различных заданий.
- Каждая операция должна быть обработана в течение непрерывного фиксированного периода времени на некотором станке.
- Одно задание может быть выполнено на одном станке, а один станок может выполнять одно задание одновременно.
- Одна операция не может выполняться на одном станке дважды.
- Время, предназначенное для наладки станков, и время перехода между операциями ничтожно малы.

3. Представление задачи распределенного планирования

Дизъюнктивный граф является одной из наиболее актуальных моделей, используемых для описания задач планирования [5]. Ниже приводится обобщение такой модели. Для каждого цеха используется дизъюнктивный граф $D = (N, A, E)$, где:

- N – набор вершин, соответствующих всем операциям O, выполняемым в цехе;
- A – набор конъюнктивных направленных дуг, основанных на правилах приоритета;
- E – набор дизъюнктивных неориентированных ребер, которые соединяют две операции из двух разных заданий, выполняемых на одном станке и в одном цехе.

На дизъюнктивном графе планирования N, A, и E определяются следующим образом:

- $N = O \cup \{u_0\} \cup \{u_{N+1}\}$, где $\{u_0\}$ и $\{u_{N+1}\}$ – фиктивные вершины, определяющие начало и конец работ в цехе;
- $A = \{u_{ij}, u_{ij+1}\}, u_{ij} \to u_{ij+1}$ – последовательность операций для задания, $J_i \cup \{u_0, u_{1j}\} : u_{1j}$ – первая операция в задании, $J_i \cup \{u_{im}, u_{N+1}\} : u_{1m}$ – последняя операция задания J_i;
- $E = \{u_{ij}, u_{hj}\}$.

Вес ребра связаны со временем обработки p_{ij}, при этом все операции $u_{ij} \in O$, u_0 и u_{N+1} имеют нулевой вес. Матрица времени обработки представлена в таблице 1.

Таблица 1. Матрица времени обработки.

Задание	Станок		Маршрут обработки
	1	2	
1	4	7	{1, 2}
2	6	6	{2, 1}
3	5	6	{2, 1}
4	6	4	{1, 2}
5	3	5	{2, 1}
6	4	4	{2, 1}

На рисунке 1 показано графическое представление распределенного календарного планирования в виде дизъюнктивного графа. После распределения заданий по цехам с использованием правила назначения, можно увидеть, что задания 1, 3 и 5 попали в 1 цех, а задания 2, 4 и 5 – во 2 цех. Кортежи типа «(задание, станок) время», расположенные около вершин с номерами операций, обозначают номер задания, номер станка и время обработки операции соответственно. Например, (3, 1) 5 рядом с вершиной 3 в 1 цехе обозначает, что операция 1 принадлежит заданию 3 и будет выполняться на станке 1 с временем обработки 5. На рисунке 2 приводится сравнение продолжительности обработки между 1 и 2 цехами. Продолжительность обработки в 1 цехе составляет 17, а во 2 цехе – 15, что позволяет сделать вывод, что максимальная продолжительность обработки равна наибольшей продолжительности обработки между двумя цехами, то есть 17.

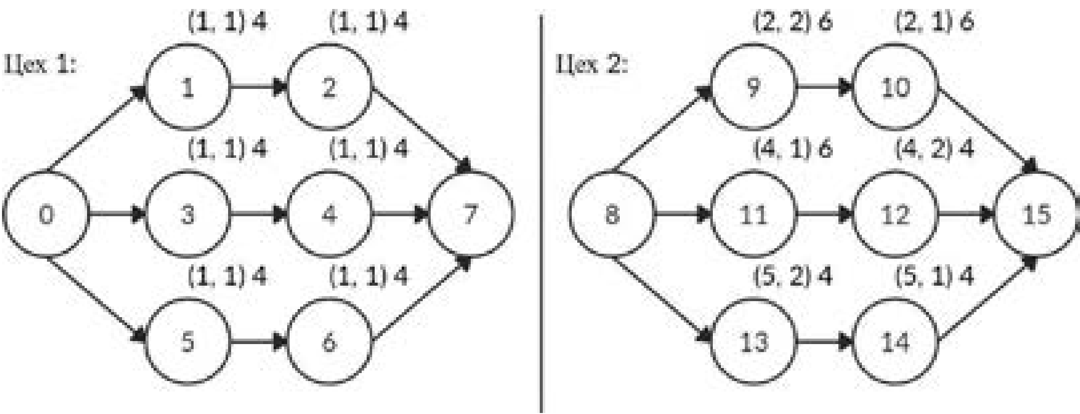


Рисунок 1. Дизъюнктивный граф представления календарного планирования с f = 2, n = 6 и m = 2.

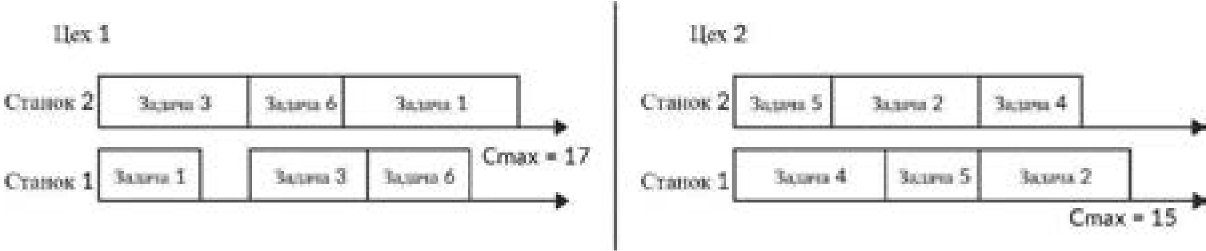


Рисунок 2. Представление календарного планирования в виде диаграммы Ганта с f = 2, n = 6 и m = 2.

4. Этап распределения заданий по цехам

Основным этапом в решении задачи календарного планирования является назначение заданий соответствующим цехам, целью которого является распределение нагрузки. В нашем случае мы будем использовать правило назначения, введенное в [6]. С помощью данного правила можно рассчитать рабочую нагрузку для каждого станка i, обрабатывающего задание j:

$$W(j,i) = \sum k \in R_{j,i}\, p_{j,k} + p_{j,i}, \forall\, i, j \quad (1)$$

где $R_{j,i}$ – набор всех станков, предшествующих станку i при обработке задания j;

$p_{j,i}$ – время обработки задания j на станке i.

После расчета рабочей нагрузки задания ранжируются в порядке убывания – от наибольшей нагрузки к наименьшей. Предположим, что имеются f цехов. Первые n заданий назначены $\{1, \ldots, n\}$ цехам соответственно. Рабочая нагрузка станков в цехах становится равной нагрузке назначенных заданий. Для цехов f определяется максимальная рабочая нагрузка. Чтобы назначить следующее задание, максимальная нагрузка рассчитывается заново, но с учетом уже распределенных заданий. Затем, задание передается цеху с минимальной рабочей нагрузкой. Алгоритм повторяется до тех пор, пока не будут распределены все задания. Чтобы лучше понять данную концепцию, рассмотрим предыдущий пример с 2 цехами, 6 заданиями и 2 станками (таблица 1). Рабочая нагрузка каждой операции приведена в таблице 2.

Таблица 2. Рабочая нагрузка станков.

Задание	Станок		Общая нагрузка	Ранг
	1	2		
1	4	11	15	4
2	12	6	18	1
3	11	6	17	2
4	6	10	16	3
5	8	5	13	5
6	8	4	12	6

Отсортируем задания по убыванию общей нагрузки – 2, 3, 4, 1, 5, 6. Задание 2 и задание 3 назначены на цехи 1 и 2 соответственно. Нагрузка станков 1 и 2 в первом цехе составляет 12 и 6 соответственно. Нагрузка станков 1 и 2 во втором цехе составляет 11 и 6 соответственно. Таким образом, максимальная нагрузка цехов составляет 12 и 11 соответственно. Чтобы назначить следующее задание (задание 4), рассчитывается максимальная рабочая нагрузка. Если задание 4 будет назначено цеху 1, рабочие нагрузки станут 18 и 16, а если оно будет назначено цеху 2 – 17 и 16. Максимальная загруженность цехов 1 и 2 – 18 и 17 соответственно. Следовательно, задание 4 назначается цеху 2. Данные шаги повторяются для всех оставшихся заданий.

Данный метод эффективен для сбалансированного распределения рабочих нагрузок на различных предприятиях.

5. Предлагаемые алгоритмы

5.1. Классический муравьиный алгоритм и алгоритм системы муравьиных колоний

После этапа распределения заданий между соответствующими цехами следует этап их упорядочивания. Для этого будут применяться три версии алгоритма муравьиной колонии: классический муравьиный алгоритм, алгоритм системы муравьиных колоний и модифицированный алгоритм муравьиной колонии. Первый вариант муравьиного алгоритма был предложен доктором философии М. Дориго [7]. Основная идея данного алгоритма – имитировать поведение реальных муравьев для решения задач оптимизации [8]. В природе муравьи способны найти кратчайший путь между источником пищи и своим гнездом благодаря их коллективному поведению. Во время движения они оставляют на земле специальный след, называемый феромоном, который привлекает других муравьев колонии.

Основные этапы рассматриваемых алгоритмов представлены ниже:

Шаг 1: в начале алгоритма инициализируются все параметры, включая начальное значение феромона на ребрах.

Шаг 2: муравьи размещаются в стартовых вершинах. В нашем случае муравьи размещаются на первой операции каждого задания.

Шаг 3: с помощью правила перехода находим вероятность перехода муравьев между соответствующими вершинами, где (2) применяется для классического муравьиного алгоритма, а (3) – для алгоритма системы муравьиных колоний:

$$P(i,s)(t) = \begin{cases} \frac{[c_{i,s}(t)]^{\alpha} \times [\frac{1}{?_{i,s}}]^{\beta}}{\sum_{j\epsilon V}[c_{i,j}(t)]^{\alpha} \times [\frac{1}{d_{i,j}}]^{\beta}}, \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases} \quad (2)$$

$$s = \begin{cases} argmax_{u\epsilon V}[r_{i,j}(t)]^{\alpha} \times [\frac{1}{d_{i,j}}]^{\beta}, \text{ если } q \le q_0, \\ S, \text{ в противном случае} \end{cases} \quad (3)$$

где $r_{i,j}$ – количество феромона между вершинами i и j;

$d_{i,j}$ – эвристическое расстояние между вершинами i и j. В нашем случае $d_{i,j}$ – это время обработки операции;

q – случайное число, равномерно распределенное в отрезке [0; 1];

q_0 – параметр, задаваемый пользователем, находящийся в отрезке [0; 1];

$p_{i,j}$ – вероятность перехода из вершины i в вершину j;

α, β – параметры, регулирующие влияние количества феромона в зависимости от эвристического расстояния;

S – параметр, выбираемый случайным образом, в соответствии с (2).

Как уже было отмечено ранее, важным отличием между данными алгоритмами является форма решающего правила, используемого муравьями в процессе перехода между вершинами. В алгоритме системы муравьиных колоний вероятность перехода от вершины i к вершине j зависит от случайной величины q, равномерно распределенной в отрезке [0; 1], и параметра q_0. Если $q \le q_0$, то из возможных вариантов выбирается тот, который максимизирует произведение $[r_{i,j}(t)]^{\alpha}_{\beta} \times [\frac{1}{d_{i,j}}]$. В противном случае используется то же уравнение, что и для классического муравьиного алгоритма.

Шаг 4: Локальное обновление феромона (применимо только для алгоритма системы муравьиных колоний). В процессе построения маршрута муравей будет изменять количество феромона на посещенных ребрах, применяя правило локального обновления:

$$r_{i,s}(t+n) = (1-\rho) \times r_{i,s}(t) + \rho \times r_0(t+n), \quad (4)$$

где ρ – коэффициент испарения феромона, находящийся в интервале (0; 1).

Задача правила локального обновления заключается в том, чтобы сделать посещаемые ребра менее привлекательными для муравьев, косвенно способствуя исследованию еще не посещенных ребер.

Шаг 5: Глобальное обновление феромона (5), состоящее из двух основных этапов:

- Фаза испарения, при которой часть феромона испаряется, чтобы разнообразить процедуру поиска и дать возможность найти другие решения;
- Фаза подкрепления, при которой каждый муравей оставляет некоторое количество феромона пропорционально сгенерированным решениям.

$$r_{i,s}(t+n) = (1-\varepsilon) \times r_{i,s}(t) + \varepsilon \times r_{i,s}(t+n), \quad (5)$$

$$\Delta r_{i,s}(t+n) = \frac{Q}{\max}, \quad (6)$$

где ε – параметр затирания феромона, находящийся в интервале (0; 1);

Q – константное значение.

Глобальное обновление феромона применяется ко всем решениям, найденным классическим муравьиным алгоритмом, в то время как в алгоритме системы муравьиных колоний оно применяется только к лучшему найденному решению. Алгоритм повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто условие завершения, которое в нашем случае является фиксированным числом итераций.

Итак, после того, как все задания распределяются между цехами с использованием правила назначения, происходит упорядочивание с применением алгоритма муравьиной колонии. В каждом цехе имеется определенное количество заданий, на которые назначаются муравьи. Каждый муравей построит свое собственное законченное решение, выполнив основные шаги алгоритма, описанные выше. В конце алгоритма у нас будет набор решений, из которых мы выберем наилучшее, имеющее минимальную продолжительность обработки среди всех цехов.

5.2. Модифицированный алгоритм муравьиной колонии

В данном разделе представлен модифицированный алгоритм муравьиной колонии. Основная задача алгоритма – улучшить решение, получаемое при помощи алгоритма системы муравьиных колоний, путем применения процедуры локального поиска.

Рассмотренные ранее алгоритмы имеют ряд недостатков из-за рандомизированного характера, который позволяет принимать вероятностные решения при построении решения. На больших данных данные алгоритмы не всегда генерируют оптимальное решение проблемы.

Предлагаемая модификация призвана повысить качество решений. Полученное алгоритмом системы муравьиных колоний решение используется в качестве начального. Прежде всего, на всех станках определяется последнее запланированное задание. Затем, происходит поиск всех неактивных интервалов времени станков и вставка операции выбранного задания в эти интервалы. Чтобы поместить операцию в неактивный интервал, необходимо проверить следующие ограничения:

- Время окончания выбранной операции > Время окончания неактивного интервала;
- Время обработки выбранной операции ≤ Длина интервала.

В представленном ниже псевдокоде отражены основные этапы предлагаемого алгоритма:

Листинг 1. Псевдокод модифицированного алгоритма.

```
Begin
Инициализация параметров, установка начального значения феромона
While Критерий остановки не выполнен do
Размещение муравьев в начальных вершинах
Repeat
For количество муравьев do
Выбор следующей вершины согласно правилу перехода
Локальное обновление феромона
End for
Until каждый муравей построил решение
Обновление лучшего найденного решения
Глобальное обновление феромона
End While
For количество найденных решений
Определение неактивных временных интервалов станков
if (Время окончания выбранной операции > Время окончания неактивного интервала)
and (Время обработки выбранной операции > Интервал) Then
Следующий интервал
Else if (Время окончания выбранной операции > Время окончания неактивного
интервала) and (Время обработки выбранной операции ≤ Интервал) Then
Вставка операции
End if
End For
End
```

6. Оценка эффективности

Результаты, описанные в текущем разделе, были получены на персональном компьютере с процессором Intel Core i7 3.4 ГГц и 8 ГБ оперативной памяти.

6.1. Настройка параметров

Выбор оптимальных значений параметров алгоритма оказывает большое влияние на эффективность и конечный результат. Были протестированы значения параметра α на экземпляре FT06, предложенном в [9], которые приведены в таблице 3. Значения параметров по умолчанию, определенные экспериментальным путем (более 10 запусков для каждого значения): β = 0.2, ρ = 0.7 для классического муравьиного алгоритма и β = 1, ρ = 0.7 для алгоритма системы муравьиных колоний и модифицированного муравьиного алгоритма. Наблюдение показало, что наилучшие результаты алгоритмов достигаются с помощью наборов параметров, приведенных в таблице 4.

Таблица 3. Настройка параметра α.

α	Классический муравьиный алгоритм	Алгоритм системы муравьиных колоний	Модифицированный муравьиный алгоритм
0.01	62	65	72
0.10	51	54	68
0.20	51	53	74
0.30	51	53	49
0.40	51	53	70
0.50	51	53	53
0.60	51	53	53
0.70	51	58	55
0.80	49	53	70
0.90	51	53	53
1.00	51	48	48

Таблица 4. Оптимальные наборы параметров.

Алгоритм	α	β	ρ	ε	Q_0
Классический муравьиный алгоритм	0.8	0.2	0.7	–	–
Алгоритм системы муравьиных колоний	1.0	1.0	0.7	0.7	0.8
Модифицированный муравьиный алгоритм	1.0	1.0	0.7	0.7	0.8

6.2. Оценка алгоритмов

Все три алгоритма были реализованы и запущены заданное количество раз с использованием набора наилучших параметров, которые были определены ранее. Были использованы примеры, предложенные в [10], с f от 2 до 7 включительно, то есть в общей сумме вышло 240 тестовых случаев. В качестве показателя эффективности было использовано относительное отклонение в процентах, которое рассчитывается по следующей формуле:

$$PD = \frac{Alg - Min}{Min} \times 100, \quad (7)$$

где Alg – время выполнения, полученное текущим алгоритмом для тестового случая;

Min – наименьшее время выполнения для того же тестового случая.

Каждое значение относительного отклонения, приведенное в таблице 5, является усредненным значением при f = 2, f = 3, f = 4, f = 5, f = 6 и f = 7. Как можно заметить, модифицированный алгоритм превосходит остальные во всех без исключения случаях. Среднее значение относительного отклонения у модифицированного алгоритма равняется 0.20, в то время как у алгоритма системы муравьиных колоний данный показатель равняется 15.50, а у классического муравьиного алгоритма – 42.30 (таблица 6). Данная статистика говорит нам о том, что новый предложенный алгоритм эффективнее и надежнее своих конкурентов.

Таблица 5. Относительное отклонение протестированных алгоритмов.

№	$n \times m$	Модифицированный муравьиный алгоритм	Алгоритм системы муравьиных колоний	Классический муравьиный алгоритм
1	15 × 15	0.00	16.24	25.73
2	15 × 15	0.96	16.61	47.87
3	15 × 15	0.00	8.62	24.76
4	15 × 15	0.00	8.67	24.51
5	15 × 15	0.00	14.41	38.79
6	15 × 15	0.00	14.06	24.67
7	15 × 15	0.46	7.95	21.17
8	15 × 15	0.36	4.86	5.85
9	15 × 15	0.00	11.33	30.22
10	15 × 15	0.75	13.50	16.54
11	20 × 15	0.87	13.65	28.19
12	20 × 15	2.82	11.80	38.34
13	20 × 15	0.81	9.84	36.02
14	20 × 15	0.00	20.26	55.19
15	20 × 15	0.00	12.17	40.60
16	20 × 15	0.16	16.90	37.22
17	20 × 15	0.20	15.50	37.15
18	20 × 15	0.00	18.45	39.51
19	20 × 15	0.00	17.50	45.16
20	20 × 15	0.00	7.09	22.33
21	20 × 20	0.00	17.72	54.37
22	20 × 20	0.00	19.83	60.79
23	20 × 20	0.00	21.41	58.23
24	20 × 20	0.00	17.91	51.67
25	20 × 20	0.00	14.73	49.33
26	20 × 20	0.00	21.17	47.79
27	20 × 20	0.00	19.77	50.43
28	20 × 20	0.00	17.94	44.20
29	20 × 20	0.00	14.53	47.55
30	20 × 20	0.00	15.83	42.37
31	30 × 15	0.00	17.70	51.90
32	30 × 15	0.00	24.30	52.00
33	30 × 15	0.00	21.70	67.10
34	30 × 15	0.00	13.30	50.60
35	30 × 15	0.50	9.40	41.90
36	30 × 15	0.30	17.50	56.30
37	30 × 15	0.00	24.40	61.40
38	30 × 15	0.00	21.50	57.40
39	30 × 15	0.00	17.20	55.80
40	30 × 15	0.00	14.40	50.40

Таблица 6. Среднее относительное отклонение протестированных алгоритмов.

Алгоритм	Среднее значение
Модифицированный муравьиный алгоритм	0.20
Алгоритм системы муравьиных колоний	15.50
Классический муравьиный алгоритм	42.30

На рисунке 3 показано среднее значение относительного отклонения протестированных алгоритмов в зависимости от количества заданий. По данному графику видно, что с увеличением числа заданий, растет и разрыв между алгоритмами.

Модифицированная версия алгоритма сохраняет высокую производительность вне зависимости от количества заданий. Стоит также отметить, что классический муравьиный алгоритм и алгоритм системы муравьиных колоний справляются со своей задачей хуже при увеличении числа заданий, в то время как модифицированный алгоритм, наоборот, работает лучше.

На рисунке 4 показано среднее значение относительного отклонения протестированных алгоритмов в зависимости от количества цехов. Как и в случае с заданиями, модифицированная версия алгоритма превосходит остальные независимо от количества фабрик.

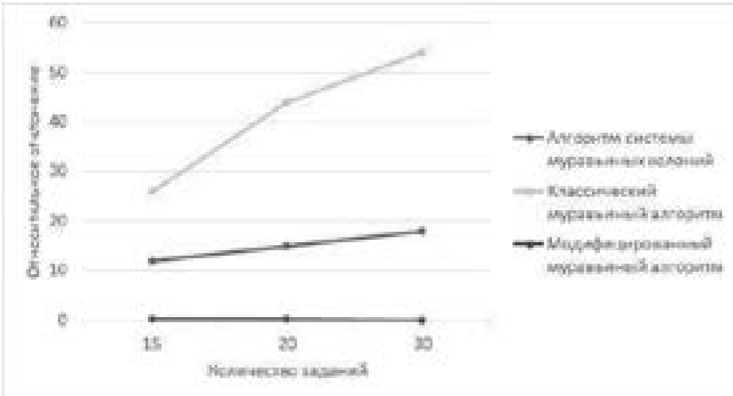


Рисунок 3. Среднее относительное отклонение в зависимости от количества заданий.

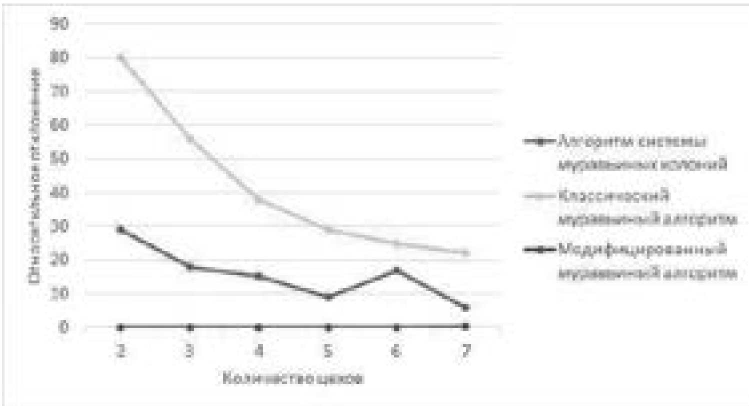


Рисунок 4. Среднее относительное отклонение в зависимости от количества цехов.

7. Заключение

Для решения задачи календарного планирования распределенных предприятий в данной статье были рассмотрены 3 версии биоинспирированного алгоритма муравьиной колонии: классический муравьиный алгоритм, алгоритм системы муравьиных колоний и модифицированный муравьиный алгоритм. Для описания модели представления календарного планирования мы использовали дизъюнктивный граф. Затем, используя правило назначения, распределили задания по соответствующим цехам. Далее, мы применили рассматриваемые алгоритмы к известным тестовым случаям из литературы. Результаты

тестирования доказали, что предложенная модификация алгоритма системы муравьиных колоний справляется с поставленной задачей гораздо эффективнее, нежели собратья.

Список литературы

[1] Jia, H. Web-based multi-functional scheduling system for a distributed manufacturing environment / H. Jia, J.Y. Fuh, A.Y. Nee, Y. Zhang // Concurrent Engineering. – 2002. – 10(1). – С. 27-39.

[2] Jia, H. A modified genetic algorithm for distributed scheduling problems / H. Jia, A.Y. Nee, J.Y. Fuh, Y. Zhang // Journal of Intelligent Manufacturin. – 2003. – 14(3-4). – С. 351-362.

[3] Jia, H. Integration of genetic algorithm and gantt chart for job shop scheduling in distributed manufacturing systems / H. Jia, J.Y. Fuh, A.Y. Nee, Y. Zhang // Computers & Industrial Engineering. – 2007. – 53(2). – С. 313-320.

[4] Chaouch, I. A survey of optimization techniques for distributed job shop scheduling problems in multi-factories / I. Chaouch, O. Belkahla Driss, K. Ghedira // In: Computer Science On-line Conference. Springer. – 2017. – С. 369-378.

[5] Błazewicz, J. The job shop scheduling problem: Conventional and new solution techniques / J. Błazewicz, W. Domschke, E. Pesch // European journal of operational research. – 1996. – 93(1). – С. 1-33.

[6] Naderi, B. Modeling and heuristics for scheduling of distributed job shops / B. Naderi, A. Azab // Expert Systems with Applications. – 2014. – 41(17). – С. 7754-7763.

[7] Dorigo, M. Optimization, learning and natural algorithms: Ph D Thesis, Politecnico di Milano/ Dorigo, M. – Italy, 1992.

[8] Talbi, E.G. Metaheuristics: from design to implementation. – vol 74 / E.G. Talbi. – John Wiley & Sons, 2009.

[9] Fisher, H. Probabilistic learning combinations of local job-shop scheduling rules / Fisher, H., G.L. Thompson // Industrial scheduling. – 1963. – 3(2). – С. 225-251.

[10] Taillard, E. Benchmarks for basic scheduling problems / E. Taillard // European Journal of Operational Research. – 1993. – 64(2). – С. 278-285.

Analysis of models for image processing when implementing an object detection system on a railway track

A. T. Tisetsky

Siberian Federal University, 79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russia

E-mail: tat500@mail.ru

Abstract. With the development of the railway industry, informatization of society and the automation of many technological processes, it becomes possible to create an automatic control system, diagnostics and safety of locomotive movement. One of the most important systems of this complex is the system for detecting objects on railway tracks, ruptures of the railway bed and its turns. Such a system can be developed in the form of a camera installed on a locomotive and information processing systems on board each rolling stock, or a global system for remote processing of information from several locomotives. Regardless of the implementation of the system, there is a need to create a block for detecting objects on images coming from cameras. The implementation of this block is possible using interacting full-convolutional and convolutional neural networks and training on a dataset covering various situations occurring on the railway tracks.

Key words: image processing, analysis, object detection, railway track, automation

УДК 004.582

Анализ моделей для обработки изображений при реализации системы обнаружения объектов на железнодорожной полосе

А. Т. Тисецкий

Сибирский федеральный университет, Красноярск, 660041,

Россия E-mail: tat500@mail.ru

Аннотация. С развитием железнодорожной индустрии, информатизацией общества и автоматизацией многих технологических процессов, появляется возможность создания системы автоматического управления, диагностики и безопасности движения локомотива. Одной из важнейших систем данного комплекса является система обнаружения объектов на железнодорожных путях, разрывов железнодорожного полотна и его поворотов. Подобная система может быть разработана в виде камеры, установленной на локомотиве, и систем обработки информации, находящихся на борту каждого подвижного состава, или глобальной системы осуществляющего удаленную обработку информации с нескольких локомотивов. Независимо от реализации системы существует необходимость создания блока обнаружения объектов на изображениях, приходящих с камер. Реализация данного блока возможна с использованием взаимодействующих между собой полносверточной и сверточных нейронных сетей и обучении на наборе данных, покрывающем различные ситуации, происходящие на железнодорожной полосе.

Ключевые слова: обработка изображений, анализ, обнаружение объектов, железнодорожный путь, автоматизация

1. Введение

Транспортная система (ТС) в любой развитой стране является важнейшей составляющей частью производственной инфраструктуры и экономического «организма» страны (внутреннее содержание и взаимосвязи между субъектами хозяйствования). Она направлена на обеспечение функционирования экономики страны и тесно с ней связана (является необходимым условием подъема экономики). Также верна и обратная зависимость - развитие и модернизация сферы транспорта стимулируется растущей экономикой страны, которая ставит перед ним новые цели и задачи развития. Также можно сказать, что ТС выполняет функцию экономического регулятора потоков (грузов и пассажиров) - данный аспект подчеркивает важность ТС для развития отдельных регионов, всей страны (да и мирового сообщества в целом) [1].

Долгосрочная программа развития (ДПР) ОАО «Российские железные дороги» разработана и синхронизирована с положениями Государственных программ Российской Федерации. К основным задачам данной программы относятся: обновление парка подвижного состава, в том числе тягового, с учётом заключения с его производителями контрактов жизненного цикла; развитие инфраструктуры для обеспечения перспективных объёмов перевозок и повышение производственной эффективности; обеспечение необходимого уровня безопасности движения и экологической безопасности; переход на «цифровую железную дорогу» [2].

К особенностям железных дорог, как объекта защиты, относятся: интенсивность и высокая скорость движения поездов на ряде участков, ограниченное время принятия решений в случае экстренной ситуации; прохождение дорог по территориям ряда субъектов РФ с большой плотностью населения, множество населенных пунктов и дачных массивов, расположенных в непосредственной близости от полосы отвода; люди, легитимно (персонал) и нелегитимно (местные жители, туристы, грибники) присутствующие на железнодорожных путях, отсутствие правовых ограничений на нахождение в полосе отвода и соответственно невозможность защиты от проникновения [3].

Данные планы и особенности позволяют задуматься о возможности создания системы автоматического управления, диагностики и безопасности движения локомотива.

Реализация интегрированной системы автоматического управления, диагностики и безопасности движения локомотивов должна состоять из определенных компонентов:

Централизованной системы управления и безопасности, которая должна:

- обеспечивать анализ поездной ситуации, состояния элементов и подсистем инфраструктуры;
- основываясь на проанализированных данных, формировать графики и маршруты движения поездов;
- гибко подстраиваться под изменяющуюся обстановку на всех участках движения;
- при необходимости изменять графики и маршруты движения во избежание аварийных ситуаций;
- оптимизировать движение составов, таким образом, чтобы оно совпадало с изначальным планом движения;
- иметь возможность обеспечивать интервальное регулирование и управлять стрелками и сигналами на станциях при необходимости корректируя движение поездов.

Системы диагностики, которая должна осуществлять сбор информации о техническом состоянии отдельных поездов и их компонентов, а также о состоянии железнодорожного полотна на проложенных маршрутах следования подвижных составов.

Системы обнаружения объектов, которая определяет объект, при его нахождении на пути подвижного состава, разрывы и повороты железнодорожного полотна, а также расстояние до них.

Системы автоматизированного управления поездом, которая, следуя управляющим сигналам из централизованной системы управления, должна осуществлять управление поездом, а также основываясь на данных из системы диагностики и обнаружения объектов осуществлять экстренное торможение или снижение скорости на определенных участках пути при выявлении посторонних объектов на пути следования, резких поворотах, а также разрывах железнодорожного полотна.

Системой навигации, необходимой для отслеживания места положения поезда.

На сегодняшний день существуют различные системы такие, как Китайская система управления движением поездов(CTCS) и Европейская система управления движением поездов (ETCS), Система управления и обеспечения безопасности движения поездов. Данные системы осуществляют диагностику технического состояния подвижных составов, мониторинг их расположения, а также управление графиками, маршрутами и интервалами между поездами [4, 5]. Однако для полностью автоматического управления подвижным составом, также необходима и реализация системы обнаружения объектов, находящихся на пути подвижного состава, поворотов, а также разрывов железнодорожного полотна.

2. Метод

Для решения задачи обнаружения объектов необходима система, которая способна «просматривать» железнодорожное полотно и определять объекты в случае их нахождении на путях, разрывы полотна и повороты. Следовательно, система должна состоять из:

- камеры, установленной в передней части локомотива;
- блок обработки изображения, предназначенный для обнаружения объектов;
- блок связи для взаимодействия системы обнаружения с системой автоматизированного управления.

Существует несколько возможных типов реализации данной системы. Система обнаружения объектов может располагается как на борту локомотива, так и удаленно, принимая изображения по сети. У каждого из этих вариантов есть свои преимущества и недостатки.

Система, находящаяся на борту локомотива, должна представлять из себя вычислительную машину, способную достаточно быстро детектировать объекты на полосе и оповещать об их появлении. Блок связи поддерживает периодическое сообщение с централизованной системой управления.

Основными преимуществами данной системы будут являться скорость обработки изображений, возможность прямой работы с системой автоматизированного управления поездом, отсутствие необходимости постоянного подключения к сети.

Главными недостатками являются дороговизна подобной системы, отсутствие возможности контроля и общей проверки всех систем, а также необходимость обслуживания каждой системы отдельно на всех поездах.

Система, располагающаяся удаленно, должна представлять из себя сервер, который будет принимать данные с камер на обработку и отправлять управляющий сигнал системе автоматизированного управления поездом. Блок связи поддерживает постоянный контакт с системами поезда.

Преимуществами данной системы являются возможность быстрой проверки работоспособности системы, возможность объединения ее с централизованной системой управления, удобство в обслуживании и ее более низкая стоимость относительно системы, находящейся на борту.

К недостаткам относятся:

- зависимость от среды передачи данных;
- низкая скорость обработки видеопоследовательности (поскольку необходимо обрабатывать данные с нескольких локомотивов, требуется достаточно мощное оборудование для обработки данных);
- уязвимость в случае отказа системы (оповещения перестают получать сразу несколько локомотивов).

Установка подобных систем на эксплуатируемый подвижной состав позволяет не только автоматизировать процесс движения состава, но и дает возможность мониторинга состояния железнодорожной инфраструктуры, не нарушая графика движения поездов в условиях реального взаимодействия подвижного состава и пути при повышенных скоростях движения [6].

Ключевой частью любой из подобных систем является блок обработки изображения. С задачей обнаружения объектов и их классификации, на сегодняшний день наилучшим образом справляются сверточные нейронные сети.

3. Результаты и обсуждения

Для решения задачи обнаружения объектов, разрывов полосы и поворотов было принято решение реализовать несколько моделей для обработки изображения:

- для выделения контура железнодорожной полосы, объектов, находящихся на ней или ее разрывов;
- для классификации объектов обнаруженных первой и вычисления их размеров;
- для определения поворотов, основываясь на данных, полученных по контурам первой.

Реализация первой модели должна представлять из себя сегментирующую (полносверточную) нейронную сеть. Структура данной нейронной сети состоит из нескольких слоев свертки, слоев подвыборки (пулинга) и нескольких слоев транспонированной(обратной) свертки.

На сегодняшний день одной из лучших сегментирующих нейронных сетей признана сеть U-Net. Данная нейронная сеть в своей структуре помимо всех перечисленных выше слоев, чтобы получить более точные результаты, на каждом шаге после транспонированного слоя использует пропускные соединения, объединяя выходные данные транспонированных сверточных слоев с картами функций из сверточных слоях на тех же уровнях. После каждой конкатенации снова применяется две последовательные регулярные свертки, чтобы модель могла научиться собирать более точный результат. [7]. На рисунке 1 представлена структура нейронной сети U-Net.

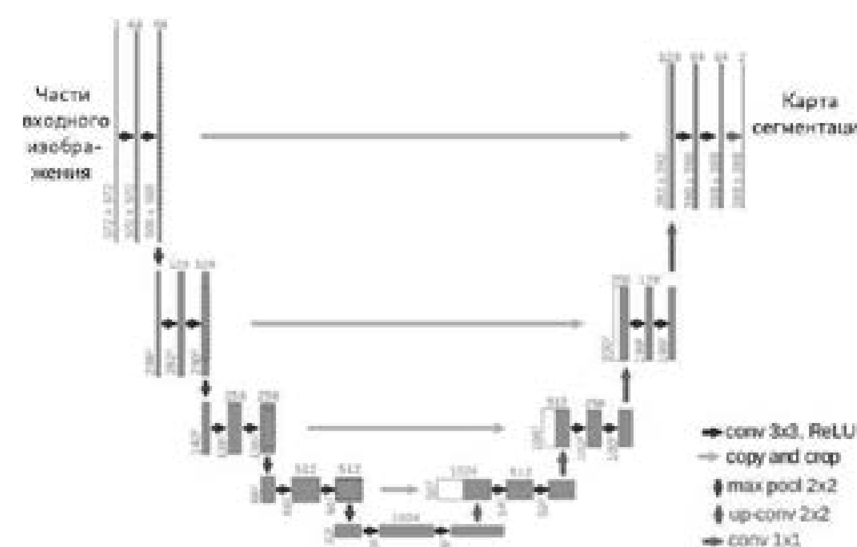


Рисунок 1. Структура нейронной сети U-Net.

На основе этого было принято решение использовать нейронную сеть со схожей структурой и применять пропускные соединения для объединяя выходные данных

транспонированных сверточных слоев с картами функций из сверточных слоях тех же уровней, но с меньшим количеством слоев, поскольку основной задачей данной нейронной сети является выделение железнодорожного полотна. На рисунках 2 – 5 представлены примеры обучающих данных для нейронной сети.



Рисунок 2. Пример входных данных.

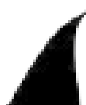


Рисунок 3. Пример выходных данных.



Рисунок 4. Пример входных данных.

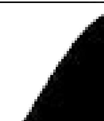


Рисунок 5. Пример выходных данных.

Для реализации второй модели было принято решение использовать сверточную нейронную сеть сосостоящую из нескольких слоев свертки и подвыборки, и последним полносвязным слоем, на вход данной сети подается не только изначальное изображение, но и выходные данные с первой модели, что позволяет не просто определять объекты на изображении, а также определить находятся они на железнодорожных путях или нет.

Для реализации третей модели используется схожая схемы, однако на вход подается лишь результат работы первой модели для определения поворота.

В качестве метода определения расстояния до поворотов и объектов возможно использование анализа серии изображений объекта и его размытия из [8].

4. Заключение

При полной реализации данной системы и обучении ее на наборе данных, полностью покрывающем различные аварийные ситуации и возможные конфигурации железнодорожного полотна при различных погодных условиях с различным освещением, позволит реализовать полноценную систему обнаружения объектов на железнодорожных путях, которая является одной из ключевых для создания автономной системы безопасного управления поездами.

Список литературы

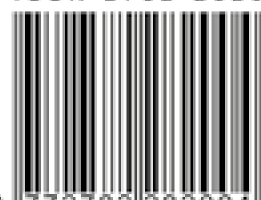
[1] Житарь, Б. Е. "Исследование подходов к обеспечению безопасности на железнодорожном транспорте" / Б. Е. Житарь, В. В. Самойлов // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – 2020. – № 56. – С. 82-87.

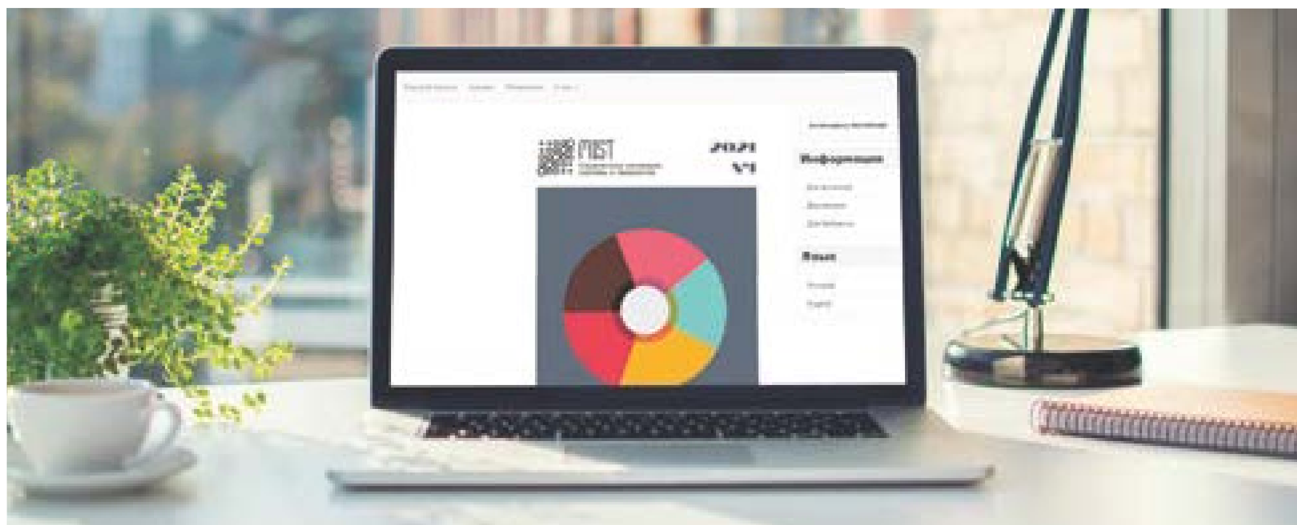
[2] Российская Федерация. Распоряжение Правительства. Долгосрочная программа развития ОАО «РЖД» до 2025 года: Распоряжение № 466-р. [утверждено Правительством РФ от 19.03.2019 г.]

[3] Гапанович, В. А. "Обеспечение безопасности на железнодорожном транспорте" Транспорт Российской Федерации / В. А. Гапанович // Журнал о науке, практике,

экономике. – 2010. – 2(27). – С. 18-21.
[4] Способы работы автоматической системы управления движением поездов и автоматическая система управления движением поездов // Патент на изобретение RU 2626430, 27.07.2017. Заявка № 2015150041 от 22.04.2014. / Гедун Н., Ян Ч.
[5] Система управления и обеспечения безопасности движения поездов, снижение рисков чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rzd-expo.ru/innovation/eastholme_management_and_traffic_safety_reducing_the_risk_of_emergencies.
[6] Локтев, А. А. "К задаче проектирования модуля визуального распознавания элементов верхнего строения пути на высокоскоростных магистралях" Транспорт Российской Федерации / А. А. Локтев, В. П. Сычев, Д. А. Локтев. // Журнал о науке, практике, экономике. – 2017. – № 1(68). – С. 22-26.
[7] Ronneberger, O. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation / O. Ronneberger, P. Fischer, T. Brox // Computer Science Department and BIOSS Centre for Biological Signalling Studies, University of Freiburg, Germany.
[8] Локтев, Д. А. "Определение геометрических параметров объекта с помощью анализа серии его изображений" / Д. А. Локтев // T-Comm - Телекоммуникации и Транспорт. – 2015. – 9(5). – С. 47-53.

MIST
Современные инновации,
системы и технологии





Тематика журнала

Управление, вычислительная техника и информатика

Науки о Земле, химия и химическая технология

Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь

Машиностроение, металлургия и материаловедение

Транспорт, авиационная и ракетно-космическая техника

Проблемы флота и кораблестроения

Физика, математика и механика

Разработка месторождений твердых полезных ископаемых, проблемы нефти и газа.

Энергетика, электрификация и энергетическое машиностроение

Строительство и архитектура

Инженерные агропромышленные науки и лесное хозяйство

Прикладные вопросы и задачи применения систем и технологий